N° 10 31 MAI 1939

Revue générale des Sciences pures et appliquées

FONDATEUR : L. OLIVIER (1890-1920).
DIRECTEURS : J.-P. LANGLOIS (1910-1923), L. MANGIN (1924-1937).

DIRECTEUR :
R. ANTHONY, Professeur au Muséum national d'Histoire Naturelle.

Adresser tout ce qui concerne la rédaction à M. le Docteur Gaston DOIN, 8, place de l'Odéon, Paris
La reproduction et la traduction des œuvres et des travaux publiés dans la *Revue* sont complètement interdites en France et en pays étrangers y compris la Suède, la Norwège et la Hollande.

CHRONIQUE ET CORRESPONDANCE

La naissance de la vie.

« Il n'y a pas de joie plus grande que la recherche « de la connaissance parfaite, joie de la seule re- « cherche... Parmi les diverses connaissances que « l'homme cherche à atteindre, il n'en est pas de « plus séduisante que celle de la Vie, de son sens, « de sa nature. »

C'est par ces mots que débute le livre que M. Tournaire présente aujourd'hui au public sous le titre « La Naissance de la Vie ».

Dans cet ouvrage, préfacé par M. le Professeur G. Urbain, l'auteur a fait preuve d'une grande érudition et il a cherché à résoudre en une harmonieuse synthèse le conflit du matérialisme et du spiritualisme.

C'est qu'en effet, aujourd'hui, pour la première fois dans l'histoire de la pensée humaine, on peut parler d'une science de la vie. Il apparaît que les fonctions qui caractérisent la vie, même la vie la plus évoluée, peuvent s'étudier scientifiquement et l'auteur espère que « lorsque les hommes sauront « mieux ce qu'est la vie et la substance, ils sau- « ront aussi mieux se conduire. Ils auront d'eux- « mêmes et du monde une autre conception, mais « juste, et partant plus belle ».

Ce livre n'est pas un traité de biologie. L'auteur a seulement pour ambition d'offrir à l'homme ce que la science apporte de lumières nouvelles sur le problème des problèmes : La Vie. Mais les frontières entre la philosophie et la physique s'estompent. Les nouvelles acquisitions de la physique, de la chimie et de la biologie n'ont-elles pas marqué leur empreinte sur les fondements de la connaissance elle-même? Aussi dans cet ouvrage, à côté de données scientifiques précises, trouverons-nous des aperçus métaphysiques parfois audacieux.

C'est ainsi que pour l'auteur « Un être vivant est « à la fois un rayonnement par sa vie psychique « et une particule par sa nature physico-chimique ».

La synthèse récemment acquise entre le continu et le discontinu, entre la particule et l'onde, semble correspondre à la réalité profonde de tout phénomène vivant ou non.

La théorie cellulaire fut belle et féconde, mais elle n'a été qu'un pas, actuellement franchi, dans le domaine de la connaissance. C'est en des éléments, infiniment plus petits et plus sensibles que la cellule, qu'il faut aller rejoindre la vie. Il ne faut même pas s'arrêter aux micelles et aux molécules labiles, il faut aller jusqu'aux atomes et à leurs constituants.

Autrefois, le problème de la matière vivante était surtout un problème d'anatomie, de physiologie, de cytologie, aujourd'hui, c'est un problème d'atomistique et l'auteur considère le rôle de la chimie comme primordial. « En apprenant la chimie du pro- « toplasme, dit-il, ses composants, ses inclusions, « ses figures, son architecture, nous saurons ce qu'est « notre chair, mais aussi notre esprit, nos désirs, « nos souffrances, notre amour ». C'est peut-être aller un peu loin, mais il est profondément regrettable qu'on entretienne l'homme de sa nourriture et de son labeur, qu'on lui inculque des connaissances inutiles ou parfois nuisibles, sans lui parler de la constitution de ses organes et des cellules qui les forment. « L'homme apprend le nom des états et il ignore le nom des substances albuminoïdes dont il est fait ».

Dans son livre II, l'auteur, après un rappel his-

torique, nous fait une description détaillée de la cellule et de ses constituants, puis il nous indique les principales théories ayant actuellement cours sur ce sujet : protoplasme, noyau, membrane, sont ainsi passés en revue. Mais il ne faut pas oublier que ce sont des substances biologiques et il convient d'insister sur les relations d'interdépendance qui régissent leurs échanges. La cellule est un monde vivant en incessant devenir et les éléments qui la constituent perdent parfois leur individualité et même leur identité. Tout se déplace et se pénètre par le chimisme cellulaire et il y a de continuels échanges entre le protoplasme et le noyau. Ces modifications chimiques cellulaires se font évidemment suivant certaines lois et l'auteur nous entretient du rapport nucléo-plasmique et insiste sur l'importance des principaux facteurs physiques (*p*H, point isoélectrique, tension superficielle, pression osmotique, orientation des molécules, polarisation, etc.) Le problème est difficile. Il est souvent impossible d'isoler certains facteurs pour en poursuivre l'étude. Or ces derniers sont nombreux : la lumière, la variation de l'état électrique, les phénomènes d'absorption par exemple, ne jouent-ils pas un rôle dans l'état de perméabilité de la membrane?

Il ne faut pas négliger non plus, dans l'étude des phénomènes vitaux, l'influence de ces composés glandulaires complexes dont la chimie n'a pu encore, dans tous les cas, reproduire la synthèse et dont l'importance fut mise en évidence par Brown-Séquard qui, le 1er juin 1889, fit part à la Société Biologique des résultats de ses travaux sur l'activité spécifique des glandes.

M. Tournaire nous résume ensuite les points essentiels de la théorie de Grégor Mendel sur l'hérédité. Mais si l'hérédité est indéniable, l'évolution l'est également, et, loin d'opposer ces théories l'une à l'autre, il appartient au chimiste d'étudier comment la nature concilie les deux thèses.

C'est de la reproduction de la vie que traite le chapitre suivant; problème fondamental s'il en fut et il est certain que, lorsque ce mystère sera éclairci l'homme saura un peu ce qu'est la vie. Voilà un problème qui a hanté depuis toujours l'esprit des hommes, mais seules les grandes découvertes cytologiques de la fin du XIXe siècle commencèrent à éclaircir le mystère de la fécondation. Aujourd'hui, nous avons quelques connaissances sur la question si délicate et si complexe de la segmentation de la cellule et du rôle du spermatozoïde. Un grand pas en avant fut, en effet, réalisé par la parthénogénèse expérimentale réalisée au laboratoire. Sans doute, il s'agit là d'un phénomène physico-chimique. Il n'est pas question de création. On ne fait pas de la vie avec la matière inerte, mais on la provoque, sans fécondation naturelle. C'est déjà fort beau.

Après cet aperçu sur une fonction essentielle de l'être vivant, l'auteur reprend en détail l'étude des constituants de la substance vivante. C'est le grain colloïdal qui constitue la micelle biologique qui semble représenter véritablement le passage entre la chair et la substance inerte. On doit au chimiste italien Francesco Selmi d'avoir, le premier, établi en 1846 une distinction entre les cristalloïdes et les colloïdes. Beaucoup de travaux ont été faits depuis sur les gels, sur l'influence du *p*H et, en particulier, sur l'importance du point isoélectrique dont la découverte est due à W. B. Hardy (1899). Les micelles étaient considérées jusqu'ici comme des agrégats de molécules, il convient, semble t il de les considérer comme des agrégats de complexes ou si l'on veut des polymères de polymères ou encore des complexes de complexes. Mais les protéides d'un protoplasme vivant ne sont pas identiques aux protéides d'un protoplasme mort et la théorie de la labilité nous donnera une explication de cette différenciation. Quant à cette labilité, elle apparaît à son tour être sous la dépendance de l'état électronique de l'atome. On est ainsi conduit à penser qu'il y a peu de structures stables et peu de structures définies : certainement beaucoup moins qu'on ne le croit. Il faut toutefois remarquer que le grand pas à franchir consiste dans la synthèse chimique d'une substance présentant les caractères du vivant. Nous n'en sommes pas encore là! De nombreuses théories existent, mais nous sommes dans l'incapacité totale de réaliser, au laboratoire, une cellule vivante. « La biologie ne peut entrer dans la voie de la synthèse que progressivement, pas à pas » comme dit S. Leduc.

Pour l'instant, il semble surtout indiqué d'accroître notre connaissance des phénomènes et des lois. Après l'étude de la cellule, il faut entreprendre celle des molécules et des atomes qui constituent la matière vivante. Aussi l'auteur brosse-t-il un large tableau des théories électroniques modernes : théorie des photons et de la mécanique ondulatoire, étude des molécules activées si intimement liées à nos conceptions modernes sur la valence chimique et sur la labilité des molécules. Et il se peut fort bien, comme le pense M. Tournaire, que cette labilité de certains atomes ou de certains radicaux soit une des causes profondes du phénomène vital et qu'elle dépende, en définitive, de l'électrovalence des carbones centraux, phénomène qui se complique d'oxydo-réduction d'ordre électronique.

Mais comment passer de ces études sur les substances vivantes à la vie elle-même. La chose n'est pas aisée et philosopher est quelquefois périlleux. Les récentes études sur le causalisme et le déterminisme nous aident dans cette voie.

Dans un essai d'une théorie de la connaissance, M. Tournaire fait jouer un rôle important au principe d'antagonisme des deux facteurs complémentaires *d'extériorisation* et *d'intériorisation*. Ces notions sont à rapprocher de celles que les physiciens appellent le *facteur d'action* et le *facteur de quantité*. A notre avis, cette partie du livre aurait gagné à être précisée. La conscience est sans doute un phénomène naturel, une résonnance de la sensation, un écho d'ordre électronique, quantique. Mais quelle est véritablement cette réaction?

Il semble juste et logique de faire deux parts dans

le psychisme, une part pour ce que l'on croyait être d'ordre psychique et qui n'est que réflexe, automatisme chimique, physique ou mécanique (ex. : les tropismes), une autre part où le psychisme entre véritablement en action.

En résumé, d'après l'auteur, il faut regarder la pensée comme un rayonnement électronique dû à certaines réactions chimico-physiques qui vient à son tour réagir sur le système nerveux provoquant ainsi d'autres pensées. La conscience de la pensée, la conscience de la connaissance, est une réaction non plus entre milieux ambiants, tels conscience elle-même et système nerveux, mais entre deux rayonnements sans doute d'ordre électronique. Eternel dualisme de la matière et de l'onde, de l'extériorisation et de l'intériorisation, de la chose et de son concept. Nous savons aujourd'hui qu'il n'est pas possible de connaître à la fois l'onde et le corpuscule et qu'un observateur modifie nécessairement ce qu'il observe. Tantôt c'est l'aspect matériel avec ses lois mécaniques qui apparaît, tantôt c'est l'aspect immatériel. Ainsi on peut admettre que la matière, la matière vivante et l'être humain, participent tous à une même réalité ultime caractérisée par un double aspect complémentaire, l'un n'existant que par rapport à l'autre, et c'est ainsi que l'on peut dire que le monde extérieur n'existe que pour l'esprit, et réciproquement.

Comme on le voit, le livre de M. Tournaire, fait d'érudition et d'imagination philosophique, nous suggère des aperçus nouveaux sur la Vie. La science est douce et apaisante, dit l'auteur. C'est aussi un refuge et « quand les hommes ayant le pouvoir « enlèvent tout à l'homme simple ; sa liberté, son « cœur, ses espoirs, sa fierté, il lui reste de métaphysiquer ».

VOLKRINGER.

Les radiations des métaux.

La *Revue Générale des Sciences* du 31 mars 1939, contient une analyse des travaux de M. J. A. Reboul sur le rayonnement ionisant émis par les métaux ordinaires.

Que l'on me permette de rappeler à ce sujet, mes propres recherches concernant les actions à distance des métaux en biologie.

Recherches ayant motivé plusieurs communications scientifiques; principalement au « Congrès de l'Association française pour l'avancement des Sciences » (Chambéry, 1933).

Je prétendais déjà dans un opuscule paru en Janvier 1931 que « les métaux produisent, en biologie, des effets à distance que j'attribuais à un double pouvoir d'absorption et de radioactivité.

Opinion répétée dans mon ouvrage : « Les Ultra-radiations » (1932) et dans celui ayant pour titre : « Actions biologiques des ondes électriques très courtes et celles qui s'y rattachent » (1933).

Voici ce qui est écrit à la page 32 de ce petit livre : « Lorsque l'on songe au pouvoir désintégrant des radiations cosmiques de Millikan, on peut s'imaginer une action particulière sur les électrons libres des métaux. Cette action particulière se traduirait donc par une émission de corpuscules négatifs (rayonnement bêta) accompagnée d'une onde associée. La radioactivité des métaux dépend de la vitesse des électrons expulsés, de leur nombre et de l'onde associée résultante ».

J'ai mis, par ailleurs, en évidence une sorte d'imprégnation des semences ayant séjourné dans un coffret de plomb.

J'ai rendu compte, en outre, dans « la Côte d'Azur médicale » du mois de mars 1935, d'expériences plus poussées.

J'établissais alors la proportionnalité de la radioactivité métallique en fonction directe de la densité, de la température ambiante et en fonction inverse de l'épaisseur et de l'oxydation.

Avant moi, G. Lebon avait constaté l'impression de plaques photographiques par les métaux.

Salx, dans ses études d'oligodynamique avait prévu une action des métaux à distance.

Après moi, d'autres chercheurs ont vérifié mes expériences :

Boucher. — C. R. des Séances de la Société de Biologie, 6 mai 1932.

Lagrange. — C. R. des Séances de la Société de Biologie, 15 janvier 1932.

Nadson et Stern. — C. R. des Séances de l'Académie des Sciences n° 25, T. 194, 1932 et Union pharmaceutique du 15 mars 1936.

Rivera. — Congrès d'électroradiologie de Venise, 1934.

Je rappelle les études du même ordre de Mlle Maracinéanu de M.-M. Boutaric, Lepape et Geslin sur la radioactivité des métaux provenant des toitures anciennes.

Il semble que les radiations des métaux ordinaires ne soient « décelables » que grâce à des expériences comportant des poses de très longues durées.

Henry COPIN.

REVUE DE BIOLOGIE

LA PHÉNOGÉNÉTIQUE

I. — Introduction.

La Génétique, telle qu'elle est comprise actuellement est essentiellement l'étude des *gènes* renfermés dans les chromosomes, de leur structure et des mécanismes qui assurent leur répartition dans la descendance, au cours des générations successives. Les recherches des trente dernières années, et tout spécialement celles de l'école de T. H. Morgan ont été si nombreuses et si poussées que l'on peut affirmer sans exagération que, dans ce domaine, les problèmes essentiels sont résolus. Nous avons résumé dans des articles précédents (1), les recherches récentes effectuées dans ce sens.

Mais, on a trop souvent tendance à considérer la Génétique comme une discipline indépendante, sans rapports immédiats avec les autres branches de la Biologie. Or, il est bien évident que les recherches génétiques ne sont que l'une des méthodes capables de résoudre le problème essentiel et fondamental de la Biologie : celui de la reproduction et du développement. C'est pour cette raison qu'il serait absolument inadmissible de creuser un fossé entre la Génétique et l'Embryologie. Elles constituent des méthodes d'attaque différentes, mais parallèles, du problème ontogénique (2). Le généticien étudie le développement des caractères commandés par les gènes renfermés dans les chromosomes; l'embryologiste suit la marche de la différenciation à partir des substances organo-formatrices déposées suivant un ordre déterminé dans le cytoplasme ovulaire. En sorte que l'on pourrait dire, en schématisant quelque peu, que la génétique est l'étude des ontogenèses commandées par le noyau, l'embryologie celle des ontogenèses qui se trouvent sous la dépendance des constituants cytoplasmiques.

Il serait facile de développer le parallélisme entre les deux ordres de faits; qu'il nous suffise de suggérer cette comparaison. Son intérêt est de nous permettre de situer exactement les recherches qui font l'objet de cet article.

Ces recherches ont pour but de mettre en évidence les mécanismes qui relient le « gène » aux « caractères » sur lesquels il exerce son action, c'est-à-dire de comprendre la façon dont les éléments héréditaires interviennent dans la production du phénotype. Il s'agit là, on le voit, de recherches qui sont autant du domaine de l'Embryologie que de celui de la Génétique, et qui établissent nettement la parenté de ces deux grandes disciplines biologiques.

C'est à cet aspect de la génétique que V. Haecker a donné, en 1918, le nom de *Phénogénétique*; il lui a consacré d'intéressantes études (revue du sujet *in* Haecker, 1925). Mais, ce n'est que tout récemment que le problème a été vraiment porté sur le terrain expérimental. Il a fait l'objet de recherches qui ont abouti à des résultats du plus haut intérêt; on doit les considérer comme parmi les plus importants de ceux qui ont été acquis, en Biologie, en ces dernières années. Ce sont eux que nous allons analyser dans cette Revue.

Ces recherches ont été poursuivies simultanément sur deux objets différents : en Allemagne, sur le Papillon de la farine, *Ephestia kühniella*, par A. Kühn et ses collaborateurs (E. Plagge, E. Caspari, K. Henke, E. Becker, etc.), aux Etats-Unis et en France, sur la Drosophile, par G. W. Beadle et B. Ephrussi et leurs collaborateurs (C. W. Clancy, M. H. Harnly, Y. Khouvine, S. Chevais, etc.). Ajoutons que les recherches de P. W. et de A. R. Whiting démontrent l'existence, chez l'Hyménoptère parasite, *Habrobracon juglandis*, de phénomènes similaires à ceux qui ont été observés chez *Ephestia* et chez *Drosophila*, mais l'analyse n'a pas encore été poursuivie systématiquement, dans ce cas.

Des revues d'ensemble du sujet ont été publiées par Ephrussi et Beadle (1937 b), Ephrussi (1938) et E. Becker (1938).

2. — Mode d'attaque des problèmes de phénogénétique par la voie expérimentale.

Un premier point de ressemblance entre la phénogénétique et l'Embryologie expérimentale réside dans une commune méthode d'attaque des problèmes posés. On sait qu'en Embryologie, les germes dont l'étude est la plus féconde, les seuls d'ailleurs

1. *Rev. Gén. Sc.* XLVI, 1935, pp. 9-13; 296-302.

2. Beadle et Ephrussi (1936) ont fait remarquer, avec justesse, que l'une des causes qui ont contribué à faire méconnaître la parenté de ces deux disciplines réside en ce que les objets de recherche se sont trouvés, en raison de conditions techniques, franchement différents. Le généticien a pris, comme objets de recherche, des Plantes, des Insectes ou des Rongeurs. Le matériel de l'Embryologie expérimentale a été constitué, jusqu'à ces dernières années, à peu près exclusivement par les embryons et les larves de Batraciens.

qui se prêtent à l'analyse expérimentale, sont ceux chez lesquels le déterminisme des ébauches est tardif, labile, et se trouve sous la dépendance de quelque facteur étranger à l'ébauche elle-même. La blastula âgée des Batraciens constitue un germe dans lequel la plupart des ébauches, les ébauches ectodermiques, en particulier, sont loin d'être définitivement déterminées, et, l'on sait combien l'analyse du déterminisme de ces ébauches, réalisée par H. Spemann et ses élèves, s'est révélée fructueuse. Les développements en mosaïque, dans lesquels toutes les ébauches sont irrémédiablement déterminées dès les stades les plus précoces, peuvent satisfaire, par leur déroulement minutieusement réglé, l'embryologiste descripteur, mais ils se révèlent absolument rebelles à l'analyse expérimentale.

Les conditions se présentent exactement de la même façon en phénogénétique. Les caractères qui se développent par autodifférenciation, c'est-dire ceux dont le déterminisme est très précoce et qui se développent par la suite, totalement indépendamment du milieu où ils sont plongés n'offrent aucune prise à l'expérience. Seuls, les caractères à déterminisme tardif et *dépendant* du milieu extérieur pourront être utilisés dans les expériences en question.

Les caractères à développement dépendant paraissaient jusqu'ici fort rares; mais, il est certain que l'attention ayant été maintenant attirée sur eux et sur l'intérêt qu'ils présentent, la liste des cas connus s'allongera rapidement.

La découverte, chez la Drosophile, de caractères à développement « dépendant » est due à A. H. Sturtevant. Elle a été faite au cours des recherches de cet auteur (Sturtevant, 1932) sur les *mosaïques* de Drosophiles. Ces mosaïques sont très généralement dues à l'élimination, au cours de la segmentation, d'un embryon femelle, de l'un des chromosomes X. Les régions issues de cellules ayant conservé les deux chromosomes X présentent les caractères femelles, tandis que celles qui ne possèdent qu'un seul X, ont les caractères mâles. Si l'individu est hétérozygote pour quelque gène sex-linked récessif, ce caractère apparaîtra dans les régions mâles, tandis qu'il ne se manifestera pas dans les régions femelles. L'élimination d'un chromosome X a ainsi pour effet de juxtaposer des régions présentant des caractères différents. Et, Sturtevant remarque, avec raison, que ces monstruosités naturelles réalisent des conditions qui rappellent très exactement les transplantations expérimentales.

Or, Sturtevant a remarqué que, dans quelques cas, les régions adjacentes réagissent l'une sur l'autre, ce qui se traduit par le fait que la manifestation du caractère intéresse non seulement la partie génétiquement déterminée comme telle, mais encore les régions immédiatement avoisinantes, de constitution génétique différente. Le développement de ces caractères est donc *dépendant* de quelque influence provenant des tissus voisins. Sturtevant a constaté que de telles conditions sont réalisées dans le cas des mosaïques impliquant les caractères *Bar, scute, yellow*. Antérieurement (Sturtevant 1920), il avait montré que le développement de *vermillion* n'est pas autonome.

La découverte de caractères à développement « dépendant » permettait d'aborder, par la voie expérimentale, le problème du déterminisme des caractères héréditaires. C'est le but des expériences de Beadle et d'Ephrussi dont nous allons maintenant résumer l'essentiel.

3. — **Méthodes.**

L'étude des mosaïques, êtres exceptionnels et produits du hasard, ne pouvait que poser le problème, mais était incapable d'en poursuivre bien loin l'analyse. Seules, les méthodes de l'embryologie expérimentale et de l'endocrinologie, appliquées au domaine de la phénogénétique, étaient susceptibles de lui faire accomplir de substantiels progrès.

La méthode des transplantations d'ébauches, qui est la méthode fondamentale de l'Embryologie expérimentale, a été appliquée à la phénogénétique, en premier lieu, chez *Ephestia*, par Caspari (1933), puis, chez *Drosophila*, par Ephrussi et Beadle (1935 *a* et *b*). Nous n'avons pas à décrire ici les détails de cette technique. Le lecteur qui désirerait les connaître les trouvera exposés, pour *Ephestia*, dans le travail de Caspari (1933), et pour *Drosophila*, dans une note d'Ephrussi et Beadle (1936).

Le principe de cette méthode qui seul nous importe est le suivant : si une ébauche *a* est transplantée dans un hôte *b*, présentant des caractères différents, deux cas peuvent se produire. Si l'ébauche *a* se développe dans le milieu étranger sans subir aucune modification, c'est que le développement de l'ébauche *a* se produit par autodifférenciation, ou plus exactement que sa détermination est déjà définitive au moment de la transplantation. Si, au contraire, l'ébauche *a* acquiert totalement ou partiellement les caractères de l'hôte *b*, c'est que la détermination de l'ébauche *a* n'est pas encore définitive au moment de la transplantation et qu'elle est modifiée par le milieu étranger dans lequel elle se trouve plongée. Son développement est dépendant. Cette méthode permet donc de distinguer les caractères dont le dévelop-

loppement se produit par autodifférenciation de ceux dont le développement est dépendant.

Anticipant sur ce que nous développerons dans les paragraphes suivants nous dirons que les caractères du second type se trouvent sous la dépendance des substances répandues dans la lymphe de l'animal et comparables jusqu'à un certain point aux hormones. Les méthodes de l'endocrinologie sont donc applicables dans ce cas. Les injections de lymphe ou d'extraits provenant du broyage d'animaux, remplacent avantageusement la méthode de transplantation. Cette technique a été employée, pour la première fois, chez la Drosophile, par Ephrussi, Clancy et Beadle (1936).

Plus récemment enfin, Beadle et Law (1938), puis E. Neuhaus (1938) ont montré que l'adjonction de substance active (extractif azoté, voir plus loin) au milieu d'élevage produit les mêmes effets que l'injection de cette substance.

4. — Les caractères à développement dépendant.

Quels sont les caractères à développement dépendant mis en évidence par ces méthodes?

Kühne et Henke (1930) ont trouvé, chez *Ephestia*, une mutation conditionnée par un gène récessif et pléiotrope, *a*, qui diffère du type normal par les caractères suivants :

Caspari (1933) a montré que si un testicule d'un individu normal est implanté dans une chenille mutante, la couleur des testicules de l'hôte est modifiée. Inversement si on implante un testicule du mutant dans un individu normal, la couleur du greffon est modifiée et tend à se rapprocher de la coloration du type sauvage. Ultérieurement, Kühn et ses collaborateurs (Kühn, Caspari et Plagge, 1935) ont montré que tout le lot des organes énumérés ci-dessus (yeux imaginaux et larvaires, testicules, peau larvaire, cerveau) sont modifiés à la suite de transplantations (fig. 1). Tous ces caractères sont donc des caractères à développement dépendant.

Chez la Drosophile, les caractères dépendants les plus étudiés sont ceux relatifs à l'œil et à sa pigmentation. Nous avons dit que A. H. Sturtevant (1920, 1932) suggéra, en se fondant sur l'étude des mosaïques, que le caractère de couleur *vermilion*, déterminé par le gène *v*, doit avoir un développement dépendant.

Ces observations constituent, comme nous l'avons rappelé plus haut, le point de départ des recherches d'Ephrussi et de Beadle. Ces biologistes (Ephrussi et Beadle, 1935 *b*) ont confirmé, grâce à des expériences de transplantation, l'induction de Sturtevant. Ils implantent, dans une larve de types sauvage (qui, suivant la nomenclature ame-

	Forme normale (AA ou mieux a^+a^+)	Mutant (aa)
Yeux imaginaux	Noirs	Rouges
Couleur des testicules	Bruns	Incolores
Yeux larvaires	Densement pigmentés	Faiblement pigmentés
Peau larvaire	Rouge	Blanc transparent
Cerveau	Brun foncé	Presque incolore

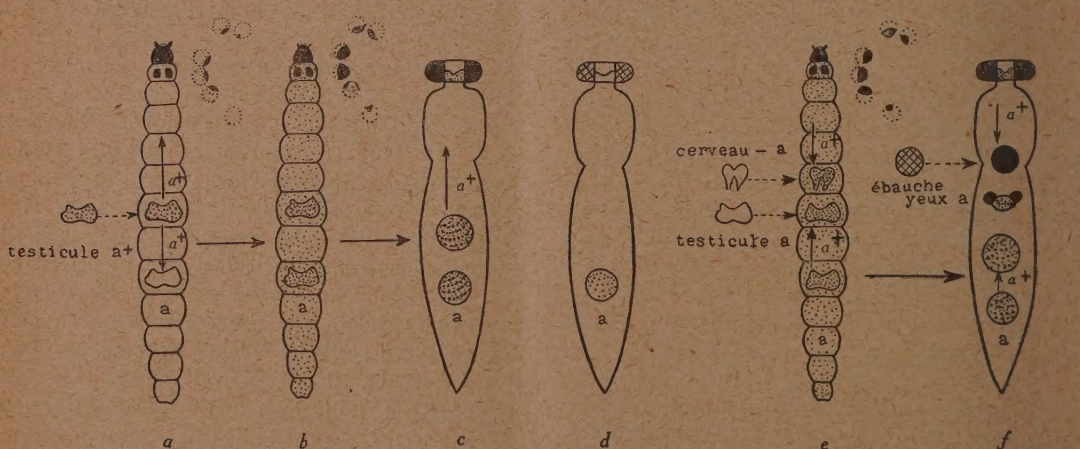

Fig. 1. — Transplantations d'organes chez *Ephestia*. — *a*) implantation d'un testicule a^+ dans une chenille *a*; *b*) effets de cette transplantation sur la chenille; *c*) effets de la transplantation sur l'imago; *d*) imago témoin; *e*) effets résultant de l'implantation d'un cerveau et d'un testicule *a* (à gauche) dans un hôte a^+ (stade chenille); *f*) mêmes effets sur un imago; une ébauche oculaire a été de plus implantée. (D'après Becker, 1938.)

ricaine est désignée par le symbole +), le disque imaginal de l'œil d'une larve appartenant à la mutation *v*. L'ébauche implantée ne se développe pas conformément à sa constitution génotypique, mais en harmonie avec le milieu où elle se trouve ginal d'œil + dans une larve de constitution $w^a cn$ (*apricot-cinnabar*)[3], type doublement récessif dont les yeux sont presque incolores; les yeux de l'hôte sont transformés dans le sens w^a (*apricot*).

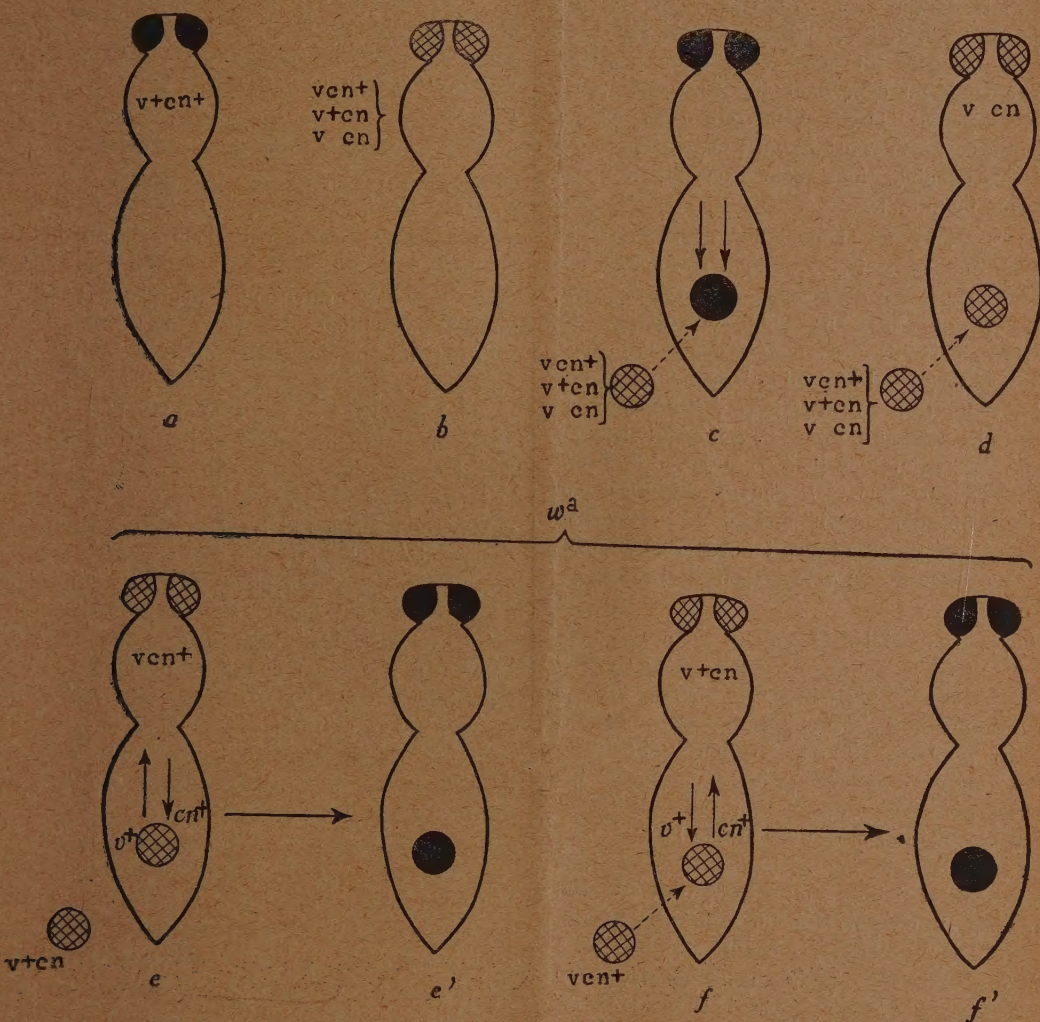

Fig. 2. — Transplantations d'organes chez *Drosophila*. — *a*) forme normale ; *b*) type *vermilion*, *cinnabar* ou *vermilion-cinnabar* (le phénotype est très semblable dans les trois cas); *c*) implantation d'un œil mutant dans un hôte normal ; la pigmentation de l'œil est modifiée ; *d*) implantation d'un œil mutant dans un hôte *vermilion-cinnabar* ; la pigmentation de l'œil reste inchangée ; *e*) implantation d'un œil *cinnabar* dans un hôte *vermilion* ; l'implant prend la pigmentation du type normal (*e'*); *f*) implantation d'un œil *vermilion* dans un hôte *cinnabar* ; l'implant prend la pigmentation du type normal (*f'*). (D'après Becker, 1938.)

plongée, c'est-à-dire qu'elle évolue en un œil de type normal (fig. 2 *c*). Le caractère *vermilion* représente donc un caractère incapable d'autodifférenciation; c'est un caractère à développement *dépendant* du milieu dans lequel l'ébauche organique est plongée.

On peut également en administrer la preuve en opérant de façon inverse (Ephrussi et Beadle, 1937 *c*); dans ce cas, ce sont les yeux de l'hôte qui servent de réactif. Implantons un disque imaginal d'œil + dans une larve de constitution $w^a cn$ (*apricot-cinnabar*)[3], type doublement récessif dont les yeux sont presque incolores; les yeux de l'hôte sont transformés dans le sens w^a (*apricot*).

Ce second exemple montre déjà que le caractère *vermilion* n'est pas le seul à présenter un développement dépendant. Beadle et Ephrussi (1935, 1936) ont montré que les caractères *cinnabar* (*cn*) et *claret* (*ca*) ont également un développement dépendant. Ils ont montré, par la suite (Ephrussi et Beadle, 1937 *a*) que toute une série de caractères

3. Pour des raisons que nous expliquerons plus loin, cette expérience donne des résultats négatifs si l'on emploie comme hôte des larves de constitution *v*.

de pigmentation de l'œil sont affectés par la transplantation : *bordeaux* (*bo*), *clot* (*co*), *Henna-recessive* (Hn^2), *mahogany* (*mah*), *purpleoid* (*pd*), *prune-2* (pn^2), *purple* (*pr*), *raspberry-2* (ras^2), *sepia* (*se*), *sepiaoid* (*sed*), *safranin-2* (sf^2).

Et, fait extrêmement intéressant, mis en évidence par Ephrussi et Chevais (1938), l'œil normal se présente lui aussi comme un caractère à développement dépendant, car des yeux + implantés dans des larves *v*, présentent une coloration qui, de façon constante, est moins foncée que celle des témoins. Nous reviendrons plus loin sur ce point important.

Les caractères de pigmentation de l'œil ont été les plus étudiés. Mais, ce ne sont pas les seuls à présenter un développement dépendant. Nous avons dit que Sturtevant (1932) a montré que les caractères suivants ont un développement dépendant : *yellow* (*y*) qui détermine la couleur jaune du corps, *scute* (*sc*) qui entraîne l'absence de certaines scies, et, enfin *Bar* (*B*) qui réduit le nombre des ommatidies de l'œil. Le nombre de caractères à développement dépendant est donc plus considérable qu'on aurait pu le croire au premier abord, et, leur nombre ira certainement en augmentant à la mesure du développement de la Phénogénétique.

Ajoutons que si les recherches de phénogénétique ont jusqu'ici porté à peu près exclusivement sur *Ephestia* et *Drosophila*, il est bien évident que l'on retrouvera des phénomènes analogues chez d'autres Insectes. Des observations faites dans un tout autre but, sur *Habrobracon*, prouvent que la pimentogenèse de cet Hyménoptère relève des mêmes mécanismes que celle de l'œil de *Drosophila*. Les Whiting ont remarqué (P. W. Whiting, 1932; A. R. Whinting, 1934; P. W. et A. R. Whiting, 1934) que, dans les mosaïques intéressant les yeux, les caractères récessifs, *orange* (*o*) et *ivory* (o^i) sont modifiés au contact de tissus renfermant le gène normal (o^+). Ils sont nettement assombris au contact de tissus génétiquement normaux, ce qui prouve qu'ils représentent des caractères à développement dépendant.

Des mécanismes analogues semblent aussi intervenir dans la pigmentogenèse de l'œil de *Bombyx* (Kikkawa, 1937).

Il est probable que les processus de pigmentogenèse de l'œil qui se déroulent de façon très semblable chez les représentants de trois ordres d'Insectes : Lépidoptères, Diptères, Hyménoptères, doivent avoir un caractère de grande généralité.

Ajoutons que l'étude de gynandromorphes et de mosaïques, et spécialement de ceux qui présentent des phénomènes de « blending », révélera certainement l'existence de nombreux caractères dépendants (voir, par exemple, Vandel, 1931).

Les caractères à développement dépendant ne sont pas non plus inconnus chez les Vertébrés, ainsi qu'en témoigne la découverte toute récente de S. C. Reed (1938). Ce biologiste vient de montrer que, chez la Souris, la présence de zones « waved » entraîne les tissus voisins, « non-waved », à acquérir ce caractère.

5. — Les substances diffusibles produites par les gènes.

Nous devons maintenant nous efforcer d'analyser la façon dont, dans un développement dépendant, le milieu environnant agit sur l'ébauche en voie d'évolution.

Le fait que les implants, dépourvus de relations nerveuses avec l'hôte, sont cependant influencés par lui, plaide déjà en faveur de l'intervention d'une substance diffusible renfermée dans le milieu intérieur du porte-greffe. Le bien-fondé de cette interprétation est prouvé par les expériences de Ephrussi, Clancy et Beadle (1936). Ces auteurs ont montré que l'injection de lymphe de pupes de type sauvage à des pupes de type *v* (ou mieux à des pupes doublement récessives, *vermilion-apricot*, $w^a v$, type dont les yeux sont pratiquement incolores) a pour effet de foncer nettement la couleur des yeux de l'hôte. Becker (1937) a réalisé des expériences analogues sur *Ephestia*; il a obtenu le noircissement des yeux d'individus *a* en leur injectant, à l'état de pupe, des extraits d'animaux a^+.

De ces expériences, nous sommes amenés à conclure que les modifications produites dans l'ébauche transplantée sont le fait de substances solubles, auxquelles Ephrussi et Beadle donnent le nom de « *substances diffusibles* », et que Kühn désigne sous le nom d' « *hormone A* » (qu'il vaut mieux, pour l'harmoniser avec le symbolisme américain, désigner par a^+).

Nous sommes ainsi conduits à admettre que les gènes sont des producteurs de « substances diffusibles », ou mieux que l'action des gènes est médiate, et qu'un des termes qui relie le gène au caractère qu'il détermine, est représenté par les « substances diffusibles ». Les mutations *a* d'*Ephestia* et *v* de *Drosophila* ont perdu la faculté de fabriquer des substances diffusibles; mais, il est à noter que les tissus des mutations *a* et *v* restent parfaitement capables de réagir à ces substances lorsqu'on les leur fournit. La manifestation du caractère a^+ ou v^+ n'est donc nullement lié indissolublement à la présence de l'un des

gènes correspondants dans les cellules réagissantes.

Les caractères qui ont été le plus étudiés jusqu'ici sont des caractères de pigmentation, c'est-à-dire des caractères impliquant essentiellement des réactions physiologiques et chimiques relativement simples. On était en droit de se demander si les mécanismes que nous venons de décrire pouvaient également rendre compte de la genèse de caractères strictement morphologiques. Or, Ephrussi et ses collaborateurs (Ephrussi, Khouvine et Chevais, 1938; Chevais et Steinberg, 1938) ont montré que le caractère *Bar* se comporte exactement comme les caractères de pigmentation. La mutation *Bar*, mutation dominante et sex-linked, est caractérisée par la réduction du nombre des ommatidies de l'œil, en sorte que l'œil apparaît, dans cette mutation, sous forme d'une bande étroite. Ephrussi et ses collaborateurs ont montré que le nombre des ommatidies augmente chez les mouches *Bar* si les larves reçoivent des injections d'extractif azoté ou si elles sont élevées sur un milieu renfermant de l'extractif aozté de larves de *Calliphora* (suivant la méthode de Beadle et Law, 1938). Ils en concluent que cet extrait renferme une « *substance morphogène* » qui intervient dans l'établissement du nombre d'ommatidies. Ces expériences établissent donc qu'un caractère strictement morphologique (nombre d'ommatidies de l'œil) se comporte exactement comme les caractères de pigmentation.

Spécificité des substances diffusibles. — Les substances diffusibles ne sont nullement spécifiques. Elles se rencontrent, avec des propriétés analogues, chez des espèces très éloignées. Ephrussi et Harnly (1936) ont montré que l'injection d'extrait de chrysalides du Papillon des ruches, *Galleria mellonella*, ou de la mouche, *Calliphora erythrocephala*, produit dans les larves w^{av} de la Drosophile, les mêmes modifications que l'injection de lymphe de Drosophile de type sauvage. Les substances diffusibles de la Drosophile, ou des substances analogues, existent aussi chez l'Hyménoptère *Habrobracon* (Beadle, Anderson et Maxwell, 1938), et aussi d'après Beadle (cité par Ephrussi, 1938) dans le Crabe *Uca*. Inversement des extraits de Drosophile injectés à des mutants *ivory* (o^i) d'*Habrobracon* assombrissent les yeux de ces mutants.

De même l'hormone a^+ d'*Ephestia* se retrouve chez divers Lépidoptères : des *Pyralididae* (*Plodia*, *Galleria*), des *Tortricidae* (*Carpocapsa*), des *Geometridae* (*Acidalia*), des *Noctuidae* (*Plusia*) (Plagge, 1936 *b*; Kühn, 1936; Kühn et Plagge, 1937).

Il est enfin du plus haut intérêt de constater que les substances diffusibles trouvées chez *Ephestia*, d'une part, chez *Drosophila*, d'autre part, sont, sinon identiques, du moins très voisines (Becker et Plagge, 1937; Plagge et Becker, 1938; Beadle, Anderson et Maxwell, 1938). L'hormone a^+ d'*Ephestia* assombrit les yeux des Drosophiles *vermilion* et *cinnabar*. *Ephestia* renferme donc les mêmes substances diffusibles que la Drosophile, ou du moins des substances qui agissent de la même façon. Elles font défaut dans la mutation *a*, car l'injection d'extraits de chrysalides *a* reste sans effet. Inversement les yeux des mutants *a* d'*Ephestia* sont assombris par l'injection d'extraits de Drosophiles sauvages.

Nous reviendrons plus loin sur ces homologies. Remarquons seulement que la non-spécificité des « substances diffusibles » les rapproche des *hormones* des Vertébrés (les auteurs allemands désignent d'ailleurs ces substances diffusibles sous le nom d'hormones). Les deux types de substances diffèrent cependant par plusieurs caractères que nous préciserons plus loin. Il n'en reste pas moins que ces recherches étendent encore le domaine des mécanismes de nature humorale dont l'importance apparaît de jour en jour plus considérable en biologie.

Substances diffusibles et Concentration. — Il semble bien établi que l'action des substances diffusibles est *proportionnelle à leur concentration*. L'effet d'un fragment d'œil sauvage implanté dans un hôte w^{av} est plus faible que celui d'un œil entier. L'intensité de la réaction produite par l'injection de substances diffusibles est approximativement proportionnelle à la concentration en substances actives. Dans le cas de l'œil *Bar*, le nombre d'ommatidies formées est proportionnel à la concentration d'extractif azoté ajouté au milieu de culture, et par suite à la quantité de substance morphogène qu'il renferme.

Des rapports analogues ont été mis en évidence chez *Ephestia*. Da Cunha (1935), Kühn, Caspari et Plagge (1935) ont montré que l'implantation d'un ovaire de type sauvage dans une larve *a* ne détermine pas la formation d'yeux complètement noirs; la quantité d'hormone a^+ produite est trop faible et l'œil prend seulement une couleur brunâtre. Mais, l'implantation de 2,3, ou 4 ovaires entraîne la formation d'yeux parfaitement noirs.

Analyse chimique des substances diffusibles. — Des essais d'extraction, par des méthodes chimiques, des principes actifs renfermés dans les substances diffusibles, n'ont pas donné, en raison de difficultés techniques, des résultats complets (Khou-

vine, Ephrussi et Harnly, 1936; Khouvine et Ephrussi, 1937; Ephrussi, 1938; Thimann et Beadle, 1937). Les substances diffusibles ne sont pas des enzymes, car elles résistent à l'ébullition, ni des substances protéiques, car elles sont solubles dans des mélanges d'alcool-éther; elles sont dialysables. Ce ne sont ni des graisses ni des stérols, car elles ne sont pas solubles dans l'éther pur; mais, elles sont solubles dans l'eau et l'acétone. Elles sont renfermées dans l'extractif azoté. Elles appartiennent probablement au groupe des aminobases. Elles paraissent riches en acide nucléique.

Becker (1937) a montré que l'hormone a^+ d'*Ephestia* n'est ni une substance protéique ni une substance grasse.

Etant donnée l'insuffisance de nos connaissances sur la constitution chimique des substances diffusibles, il est nécessaire de procéder à leur analyse par des méthodes biologiques.

6. — Analyse biologique des substances diffusibles.

Il semble que, chez *Ephestia*, une seule substance diffusible intervienne dans la manifestation des caractères dont nous avons donné plus haut la liste. Cependant, Kühn (1936) admet que les hormones produites par les gonades et celles engendrées par le cerveau ne sont pas absolument identiques.

Chez la Drosophile, plusieurs substances diffusibles ont été mises en évidence, grâce à des méthodes biologiques. Nous nous bornerons à examiner deux d'entre elles qui ont été particulièrement bien étudiées[4].

Beadle et Ephrussi (1936) interprètent l'expérience fondamentale qui prouve l'existence du développement dépendant, non autonome, de l'œil *vermilion*, en admettant qu'une substance diffusible produite par l'œil normal et qui assure le développement du pigment de type normal, ne se forme pas dans le mutant *vermilion* (*v*). Par raison de simplicité, ils désignent cette substance diffusible par le même symbole que le gène qui la produit, c'est-à-dire par v^+.

Beadle et Ephrussi (1935) ont montré que l'œil de la mutation *cinnabar* (*cn*) présente un développement dépendant, comme l'œil *vermilion*. Ils admettent que l'œil normal sécrète une substance diffusible qu'ils désignent par le symbole cn^+, et qui n'est pas produite par le mutant *cinnabar*. La question se pose donc de savoir si les deux substances v^+ et cn^+ sont identiques ou différentes.

Beadle et Ephrussi ont répondu à cette question en implantant des ébauches d'yeux *vermilion* dans des larves *cinnabar*, et inversement. Ces expériences montrent que l'ébauche *vermilion* implantée dans une larve *cinnabar*, forme un œil phénotypiquement de type sauvage (fig. 2, *f*); tandis que l'ébauche *cinnabar* implantée dans une larve *vermilion*, forme un œil phénotypiquement *cinnabar*. Cette double expérience prouve que les deux substances v^+ et cn^+ ne sont pas identiques. On doit admettre que l'œil sauvage (+) produit les deux substances v^+ et cn^+; que le mutant *cn* renferme la substance v^+ (puisqu'il transforme l'œil *vermilion*), et que le mutant *v* ne renferme aucune de ces deux substances.

Ces deux substances, bien que différentes, ont cependant des rapports entre elles puisqu'un œil *v*, implanté dans un hôte *cn*, donne un œil de type + (fig. 2, *f*). Beadle et Ephrussi (1936) considèrent que ces deux substances sont ontogéniquement — et, probablement chimiquement — liées l'une à l'autre. Ils admettent que les deux substances v^+ et cn^+ représentent deux termes successifs d'une chaîne de réactions. Ce qu'ils traduisent par le schéma :

$$\underset{}{\rightarrow} \underset{1}{v^+} \rightarrow \underset{2}{cn^+} \rightarrow +$$

La mutation *v* arrête la réaction au point 1, la mutation *cn*, au point 2. Ceci dit, les auteurs interprètent la première expérience (ébauche *v* implantée dans un hôte *cn*) de la façon suivante : l'implant *v* n'élabore ni substance v^+, ni substance cn^+; l'hôte *cn* produit de la substance v^+, mais ne peut former de substance cn^+. L'implant *v* reçoit de son hôte la substance v^+, et rien ne l'empêche alors de fabriquer, à l'aide de cette substance v^+, de la substance cn^+. C'est pourquoi l'implant acquiert finalement le type +.

Il semble donc que la substance v^+ soit nécessaire à l'élaboration de la substance cn^+; il est probable qu'elle en représente un état précurseur, de composition chimique assez voisine.

7. — La répartition des substances v^+ et cn^+ dans la série des mutants de la Drosophile (et, chez d'autres insectes).

Nous venons de dire que la substance cn^+ fait défaut dans les mutations *cinnabar* et *vermilion*, et la substance v^+, dans la mutation *vermilion* seulement. Comment se comportent au point de vue de la répartition de ces substances, les autres mu-

4. Beadle et Ephrussi avaient admis, à la suite de leurs premières recherches, l'existence d'une substance ca^+ qui ferait défaut dans le mutant *claret*. D'après les dernières recherches (Beadle, 1937 *b*; Beadle, Anderson et Maxwell, 1938), l'effet « *claret* » serait dû à l'impossibilité où se trouvent ces mutants d'utiliser les substances v^+ et cn^+.

tations de Drosophiles caractérisées par des variations de pigmentation de l'œil ?

Lorsqu'on implante des disques imaginaux d'yeux *vermilion* ou *cinnabar* dans les larves appartenant aux mutations présentant des variations de couleur de l'œil, on constate que, dans beaucoup de cas, les implants prennent le type +, ce qui prouve que les hôtes renferment les substances v^+ et cn^+ (Ephrussi et Beadle, 1937 *a*). Cependant, la même opération réalisée dans les mutants *bright, claret, carnation, carmin, garnet-2, mahogany, peach, ruby*, montre que les yeux implantés se développent en yeux de couleur *vermilion* ou *cinnabar*, ou intermédiaires entre *vermilion* ou *cinnabar* et le type sauvage. Ce qui prouve que les hôtes manquent en totalité ou en partie, des substances v^+ et cn^+.

Parmi ces mutants, quelques-uns (*carnation, carmin, garnet-2, ruby*) montrent un abaissement plus ou moins parallèle du taux de substances v^+ et cn^+.

D'autres mutants (*bright, mahogany, peach*) présentent un fort abaissement de la concentration de la substance cn^+ seule, celle de la substance v^+ n'étant pas modifiée de façon appréciable. On le prouve par la double expérience que voici : un œil *cn* implanté dans un hôte *bright*, par exemple, est à peine modifié; tandis qu'un œil *v* implanté dans un hôte de même constitution est transformé en un œil de type + (Beadle et Ephrussi, 1937).

Aucun mutant n'a été trouvé dans lequel la substance v^+ disparaîtrait seule. Ce qui est en accord avec ce que nous avons dit sur les rapports des substances v^+ et cn^+ : à savoir que la substance v^+ représente un maillon d'une chaîne de réactions dont le terme ultime est la substance cn^+.

La méthode de transplantation permet d'autre part d'établir des comparaisons précises entre les diverses espèces de Drosophiles. Il y a longtemps que les généticiens ont tenté de comparer et d'assimiler certains gènes qui se rencontrent dans des espèces voisines de Drosophiles. Mais, en raison de l'impossibilité de croiser entre elles les espèces de Drosophiles (*melanogaster* et *simulans* exceptées) ces comparaisons ne reposaient jusqu'ici que sur les ressemblances entre les effets phénotypiques produits; ces comparaisons restaient de ce fait fort aléatoires. Les transplantations croisées, entre espèces différentes, d'ébauches oculaires et l'étude de leur comportement permettent de donner à ces comparaisons une base expérimentale. Howland, Clancy et Sonnenblick (1937), Tan et Poulson (1937), Gottschewski et Tan (1937) ont, par cette méthode, comparé certains gènes de *pseudo-obscura* et de *melanogaster*; ils ont pu établir les assimilations suivantes :

Pseudoobscura	*Melanogaster*
v, vermillon	*v, vermillon*
or, orange	*cn, cinnibar*
ca, claret	*ca, claret*

Ces réactions permettent d'établir des comparaisons, non seulement entre les différentes mutations de *Drosophila melanogaster*, ou entre les différentes espèces de Drosophiles, mais, en raison du manque de spécificité des substances diffusibles, elles conduisent à tracer un intéressant parallélisme entre des animaux aussi différents que *Drosophila, Ephestia*, et *Habrobracon*. A ce point de vue, la phénogénétique se trouve dans une situation beaucoup plus favorable que la génétique proprement dite, car toute comparaison purement génétique, entre formes spécifiquement différentes, reste fort aléatoire.

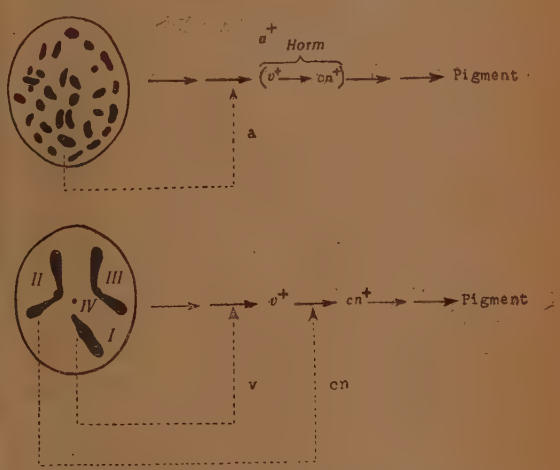

Fig. 3. — Rapports des gènes, renfermés dans les chromosomes, et de la pigmentogenèse, chez *Ephestia* (en haut), chez *Drosophila* (en bas). Les flèches et les pointillés marquent les points où la chaîne de réactions est interrompue par les gènes *a*, *v* (renfermé dans le chromosome X) et *cn* (renfermé dans le chromosome II). (D'après Becker, 1938.)

Nous avons dit que l'injection d'extraits de pupes de Drosophiles sauvages à des chrysalides d'*Ephestia* appartenant à la mutation *a*. détermine une modification de tous les organes réactionnels vers le type a^+. Plagge et Becker (1938) ont montré que l'injection d'extraits de pupes *cinnabar* conduit au même résultat. Par contre, les extraits de pupes *v* sont absolument sans effet. Il semble donc que, seule, la substance v^+ soit nécessaire et suffisante pour provoquer le noircissement des yeux, chez *Ephestia*. La mutation *a* d'*Ephestia* qui ne produit pas cette substance paraît donc l'homologue de la mutation *v* de *Drosophila* (fig. 3).

Nous avons dit également que Beadle, Anderson et Maxwell (1938) ont montré que les extraits de Drosophiles sauvages injectés à des mutants *ivory* d'*Habrobracon* ont pour effet d'assombrir les yeux de ces mutants. Inversement, on constate que des extraits de nymphes *ivory* modifient les yeux des Drosophiles de type *vermilion*; par contre, les mêmes extraits sont sans effet sur les yeux de type *cinnabar*. La mutation *ivory* renferme donc la substance v^+ (ou une substance analogue), mais non la substance cn^+. La mutation *ivory* d'*Habrobracon* est donc homologue de la mutation *cinnabar* de la Drosophile.

8. — Lieu de production des substances diffusibles.

Les substances diffusibles que nous venons d'étudier sont produites par des organes spécifiques, mais différents pour *Ephestia* et *Drosophila*.

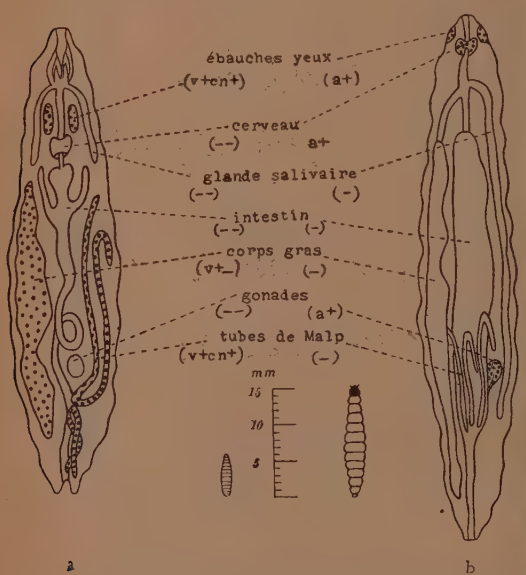

Fig. 4. — Les organes producteurs de substances diffusibles chez *Drosophila* (*a*) et *Ephestia* (*b*). Les organes élaborateurs de substances diffusibles sont indiqués par un pointillé sur le schéma. (D'après Becker, 1938.)

Seul, l'œil sécrète les substances actives dans les deux espèces.

Chez *Ephestia*, les testicules, les ovaires et le cerveau sont encore des producteurs d'hormone a^+. Les organes similaires de la Drosophile ne produisent pas de substances v^+ ou cn^+; les glandes salivaires, le tube digestif ne sont pas non plus des producteurs de substances diffusibles (Beadle et Ephrussi, 1936; Beadle, Anderson et Maxwell, 1938). Par contre, chez la Drosophile, les tubes de Malpighi et le corps gras sécrètent des substances diffusibles, mais, alors que les premiers produisent les deux substances v^+ et cn^+, le second ne fournit que la substance v^+ (Beadle, 1937 *a* et *b*) (fig. 4).

Des organes divers sont donc capables de produire des substances diffusibles. Nous ignorons d'ailleurs complètement pourquoi les gènes ne se montrent actifs que dans certains organes et non point dans d'autres. Quoiqu'il en soit ces faits sont appelés à renouveler les notions classiques de l'endocrinologie où il est généralement admis qu'une hormone n'est sécrétée que par un seul organe spécifique.

Un autre point mérite également de retenir l'attention. Des organes divers, gonades, cerveau, chez *Ephestia*, tubes de Malpighi, corps gras, chez la Drosophile, exercent par l'intermédiaire de substances diffusibles qu'ils secrètent, une action sur des organes éloignés, tels que l'œil. On ne peut manquer d'être frappé de la ressemblance qui existe entre ce mécanisme et celui qui, chez les embryons de Vertébrés, soumet les ébauches ectodermiques à l'influence de l'organisateur. Ce rapprochement souligne, une fois de plus, les rapports étroits qui relient l'Embryologie à la Génétique comprise dans le sens où nous l'entendons dans cet article.

9. — Les conditions chronologiques de l'action des substances diffusibles.

Un point très important reste à examiner. Il s'agit du double problème que posent toutes les recherches d'embryologie ou d'endocrinologie :

a) A quel moment sont produites les substances actives?

b) Quelle est la période pendant laquelle les organes réactionnels sont sensibles à l'action des substances diffusibles? Car, comme dans tous les domaines de la biologie, les récepteurs ne réagissent que pendant une période déterminée, au delà de laquelle les substances actives sont sans effet.

Drosophile. — *a*) Ephrussi, Clancy et Beadle (1936), Beadle, Clancy et Ephrussi (1937) ont montré que la lymphe de larves âgées approchant de la métamorphose, ne renferme pas encore la substance v^+. Cette substance apparaît dans la lymphe de pupes âgées de 3 à 80 heures. Enfin, dans la lymphe de pupes âgées de plus de 80 heures, la substance v^+ a presque disparu. Cependant, Harnly et Ephrussi (1937) ont encore trouvé des traces de substance v^+, dans des pupes de 94 à 97 heures. Le maximum de production de la substance v^+ se place entre 8 et 17 heures.

Quant à la substance cn^+, Harnly et Ephrussi (1937) ont montré que les larves âgées ne la ren-

ferment pas encore. Elle apparaît dans les pupes âgées de 1 à 70 heures. Elle persiste, en quantité très faible, jusque dans la mouche après l'éclosion.

Par contre, les substances actives apparaissent de façon très précoce dans les tubes de Malpighi. Beadle (1937) a montré que l'on peut déceler la présence de substances actives dans les tubes de larves âgées de 24 heures seulement.

b) Ephrussi, Clancy et Beadle (1936), Beadle, Clancy et Ephrussi (1937) ont montré que l'injection de substance v^+ dans les larves prélevées quelques heures avant la métamorphose, a un effet positif. Mais, cette expérience ne permet de tirer que des conclusions restreintes; il est, en effet, impossible de fixer, de façon exacte, le début de la période sensible; car, il est à peu près certain que la substance injectée dans les larves n'est pas utilisée immédiatement, mais est emmagasinée, pour ne servir qu'au cours de la métamorphose. L'injection dans des pupes donne des résultats positifs lorsque leur âge ne dépasse pas 65 heures. Lorsqu'on emploie des pupes d'un âge plus avancé, le résultat est négatif.

L'injection de substance cn^+ ne donne de résultats positifs que lorsqu'elle est pratiquée dans des pupes dont l'âge ne dépasse pas 67-68 heures. Ce stade qui correspond aux 7/10 du développement total de la pupe, est marqué par le début de l'apparition du pigment.

Ephestia. — *a*) Plagge (1936 *a*) a montré que les testicules de très jeunes chenilles renferment déjà l'hormone a^+. Le cerveau ne secrète de substances diffusibles que pendant le stade chenille (Kühn, 1936).

b) La période sensible est difficile à délimiter, au moins quant à son début, car l'hormone a^+ peut être emmagasinée longtemps avant d'être utilisée, ainsi que le prouvent les faits de « prédétermination » décrits par Kühn, Caspari et Plagge (1935) et par Kühn et Plagge (1937). Une femelle de la mutation *a* dans laquelle on a implanté, au stade larvaire, le cerveau ou les testicules d'un individu normal a^+, est croisée avec un mâle *a*. Les descendants de ce couple sont donc génétiquement du type *a*. Cependant, les chenilles issues de ce croisement sont presque aussi pigmentées que les formes sauvages. Cette anomalie s'explique par le fait que la substance a^+ libérée par les organes implantés dans l'individu maternel, s'est accumulée dans les ovules pour diffuser, plus tard, dans les chenilles qui en sont issues, en produisant une pigmentation du type a^+.

Plagge (1936 *a*) a précisé la limite au delà de laquelle les disques imaginaux des yeux et des testicules ne réagissent plus. Les ébauches oculaires d'une chrysalide de type *a* réagissent à l'implantation d'un testicule a^+, lorsque la chrysalide est âgée de moins de 9 jours. Si l'implantation a lieu dans une chrysalide de 10 à 11 jours, la pigmentogenèse n'est que partielle, et, la couleur de l'œil est intermédiaire entre la coloration du type sauvage et celle de la mutation. Le résultat est complètement négatif lorsque l'implantation est faite dans des chrysalides de plus de 12 jours, ce stade correspondant à peu près à la moitié de la période de métamorphose. La coloration des testicules peut être modifiée jusqu'à un stade larvaire qui précède de peu la métamorphose.

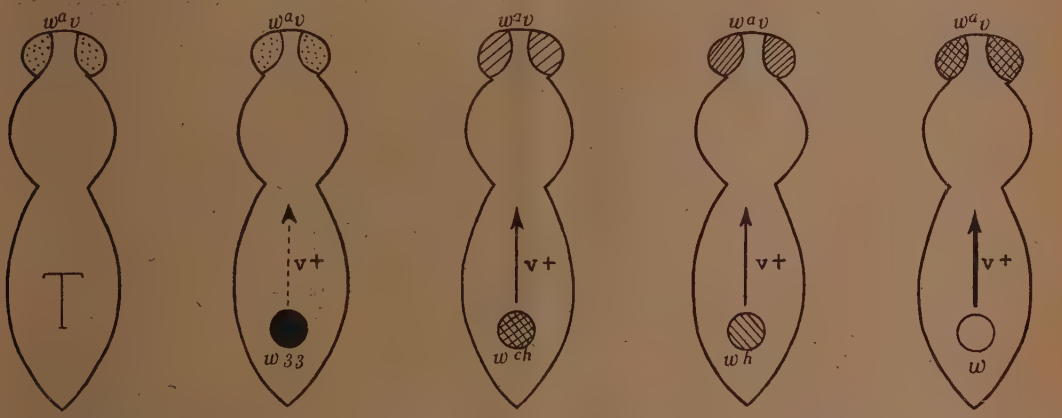

Fig. 5. — Implantations d'ébauches oculaires prélevées dans les allèles de la série *white*, dans des hôtes w^{av} (*apricot-vermilion*). T, témoin ; *w 33*, type à peu près normal; w^{ch}, mutation *cherry* ; w^h, *honny* ; *w*, *white*. L'effet sur l'hôte est d'autant plus fort que l'implant est moins pigmenté. La quantité de substance $v+$ libérée est représentée schématiquement par l'épaisseur de la flèche. (D'après Ephrussi et Chevais, 1938.)

10. — Production et libération des substances diffusibles.

Les faits résumés dans le paragraphe précédent

montrent déjà que production et utilisation de substances diffusibles ne coïncident pas exactement. Mais, il est un autre type de relations qu'il nous faut maintenant examiner; production et libération de substances diffusibles sont deux choses différentes. Il n'y a libération de substances actives qu'au cas où l'organe qui les produit (l'œil, dans le cas considéré) ne les absorbe pas entièrement. La quantité de substance libérée par un organe donné est égale à la quantité de substance élaborée, soustraction faite de la quantité de substance utilisée par l'organe lui-même. Ce qui peut se traduire par l'équation :

Libération = Production — Utilisation.

Le problème s'est posé sur le terrain expérimental par l'étude des mutants de la série *white* de la Drosophile. Les yeux de ces mutants sont totalement ou partiellement dépourvus de pigment. Ephrussi et Chevais (1937, 1938) ont montré que des disques *v* ou *cn*, implantés dans des larves *white* (*w*) donnent des yeux de pigmentation normale, +, et cela bien que les yeux de l'hôte soient dépourvus de pigment. On doit en conclure que le mutant *white* renferme les substances v^+ et cn^+, et que l'absence de pigment, chez ce mutant, est dû à un mécanisme différent de celui qui est impliqué dans le jeu des substances v^+ et cn^+.

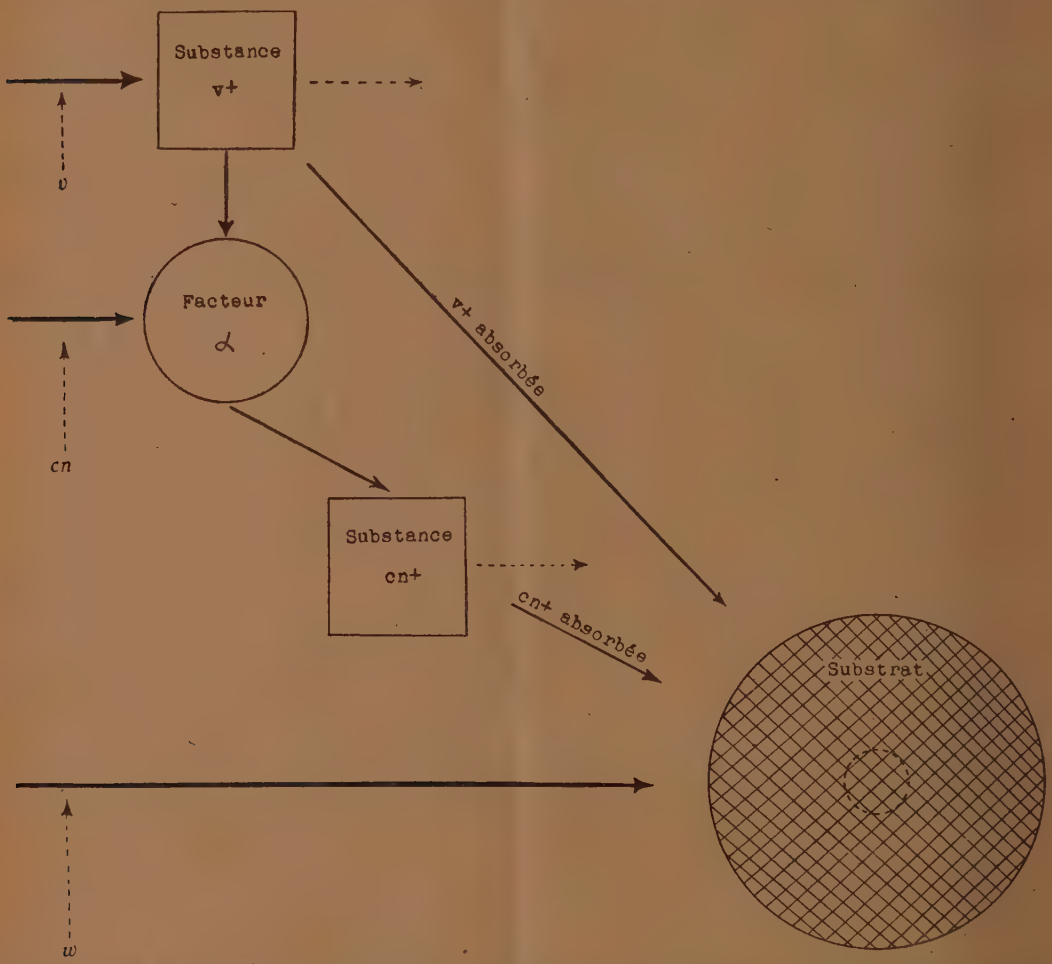

Fig. 6. — Schéma des réactions de pigmentogenèse (pour les explications, voir le texte). Cas d'un œil *w*. Les flèches verticales indiquent les niveaux auxquels les réactions sont arrêtées par les gènes *w*, *cn* et *v*. (D'après Ephrussi et Chevais, 1938.)

En employant, pour réaliser ces expériences, des termes de plus en plus pigmentés de la série *white*, les auteurs ont constaté que la quantité de substances diffusibles libérée est d'autant plus grande que les mutants qui servent d'hôtes sont moins pigmentés (fig. 5). Les auteurs interprètent ces résultats de la façon que voici. Ils admettent qu'une ébauche oculaire ne libère de substance

v^+ ou cn^+, qu'autant que ses propres besoins en cette substance sont satisfaits. Ils ont donné à ce phénomène le nom de « clause de priorité » (priority effect).

Les schémas 6 et 7 synthétisent la façon dont Ephrussi et Chevais comprennent les relations des différentes substances intervenant dans la pigmentogenèse de l'œil. La substance cn^+ est élaborée grâce à l'intervention conjuguée de la substance v^+ (comme il a été démontré plus haut) et d'un facteur α dont la nature n'a pas encore été précisée. Ces substances exerceraient leur action sur un « substrat » qui représente un précurseur du pigment et, dont la quantité est variable suivant les mutants considérés. Le substrat est inexistant chez le mutant w, très abondant chez w^+, et représenté par des valeurs intermédiaires, dans la série d'allèles de w.

Dans le cas d'un hôte w, c'est-à-dire dans le cas où le « substrat » est inexistant, la totalité des substances diffusibles produite est libérée (fig. 6). Dans le cas d'un hôte w^+, la totalité des substances actives produite est absorbée par le « substrat »; aucune fraction de substance diffusible n'est libérée (fig. 7).

Ces conditions rendent compte du résultat au premier abord paradoxal que voici (Ephrussi et Chevais, 1938). L'implantation d'un œil + dans une larve $w^a cn$ (type à yeux presque incolores) détermine la transformation des yeux de l'hôte en yeux du type w^a (*apricot*). C'est le résultat escompté. Il s'explique aisément en admettant que l'œil + libère de la substance cn^+ qui agit sur l'œil $w^a cn$ pour le transformer dans le sens w^a. Mais, fait singulier, si l'on implante simultanément un œil + et un œil $w^a cn$, dans une larve v, l'œil $w^a cn$ n'est pas modifié (fig. 8). Nous devons nous demander pourquoi l'œil +, placé dans un milieu v, ne libère pas de substance cn^+, alors qu'il en libère dans le milieu cn. La réponse est la suivante : les deux milieux v et cn diffèrent en ce que le premier ne produit pas de substance v^+, tandis que cette substance se trouve en excès dans le second milieu. Or, nous avons dit plus haut que l'œil + produit

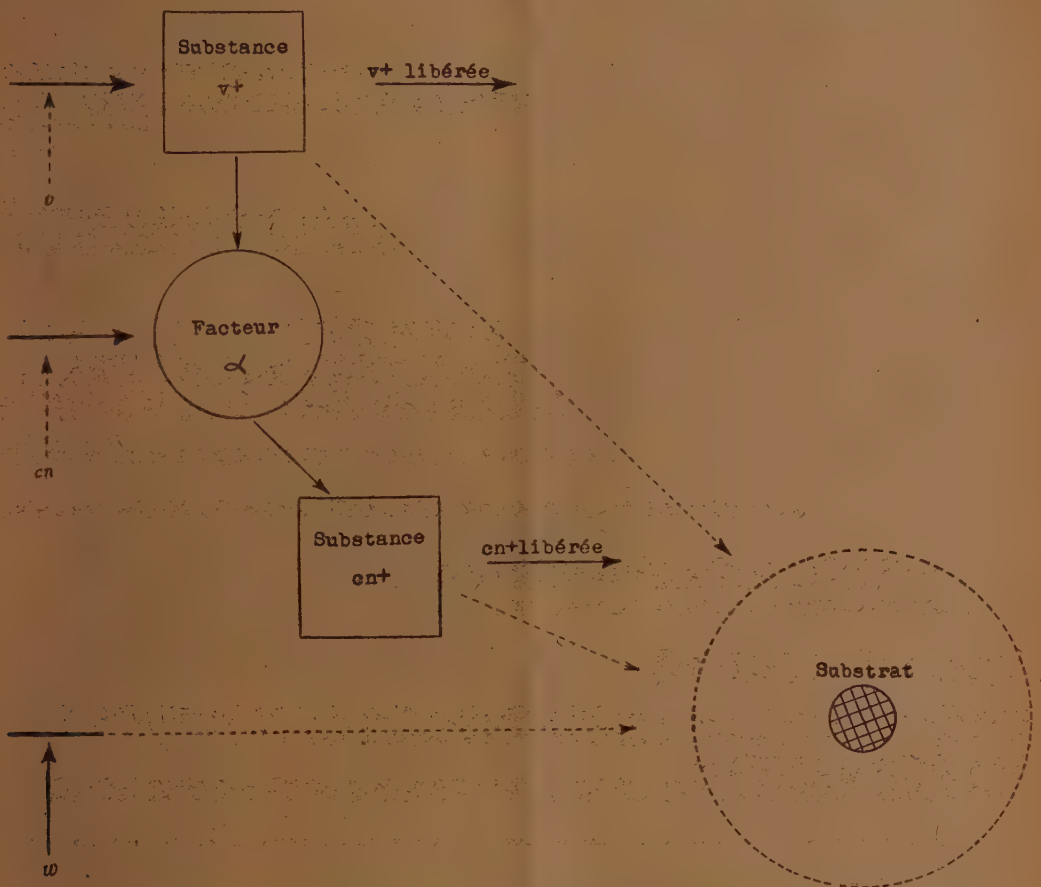

Fig. 7. — Schéma des réactions de pigmentogenèse. Cas d'un œil +. (D'après Ephrussi et Chevais, 1938.)

tout juste assez de substance v^+ pour assurer sa propre pigmentation. Il se trouve juste à la limite de l'autodifférenciation. La totalité de la substance v^+ qu'il produit est utilisée pour ses propres besoins. Rien d'étonnant, par suite, à ce que cet œil plongé dans un milieu *v*, dépourvu de substance v^+, soit incapable de libérer de la substance v^+, et, par transformation de celle-ci, de la substance cn^+, nécessaire à la modification de l'implant $w^a cn$ que l'on a greffé en même temps que lui. Ce même œil plongé dans un milieu *cn*, riche en substance v^+, pourra, au contraire, transformer celle-ci en substance cn^+ qui modifiera la couleur de l'œil $w^a cn$.

11. — La place des substances diffusibles dans la chaîne de réactions qui relie le gène au caractère.

Nous venons de résumer, aussi fidèlement que possible, les expériences qui ont mis en évidence, chez *Ephestia* et chez *Drosophila*, l'existence de substances diffusibles. On est en droit de se demander quelle place occupent ces substances dans la chaîne de réactions qui relient le gène au caractère. Il faut avouer que, sur ce point, nous en sommes encore réduits à des hypothèses. Notons cependant un contraste intéressant. Nous avons dit que l'étendue de la réaction produite est proportionnelle à la quantité de substances diffusibles mise en jeu. On a constaté, d'autre part, que l'emploi comme producteur de substances diffusibles, d'un homozygote ou d'un hétérozygote, ne change en rien la réaction finale. Il y a donc proportionnalité quant à la quantité de substances diffusibles mise en jeu, et absence de proportionnalité dans le cas des gènes producteurs de ces substances. Kühn, Caspari et Plagge (1935) concluent de cette antinomie que la production de substances diffusibles ne relève pas immédiatement du fonctionnement des gènes mais est due à une réaction primaire, indépendante du nombre de gènes renfermés dans les cellules. Cependant, d'autres interprétations de cette antinomie peuvent être données (Ephrussi, 1938). Il apparaît cependant que l'élaboration de substances diffusibles est liée intimement à la pigmentogenèse, c'est-à-dire à la manifestation du caractère phénotypique, tandis que les rapports de ces substances avec les gènes paraissent assez lointains. Il est d'ailleurs inutile de spéculer, pour l'instant, sur ces relations que nous connaissons de façon encore trop approximative.

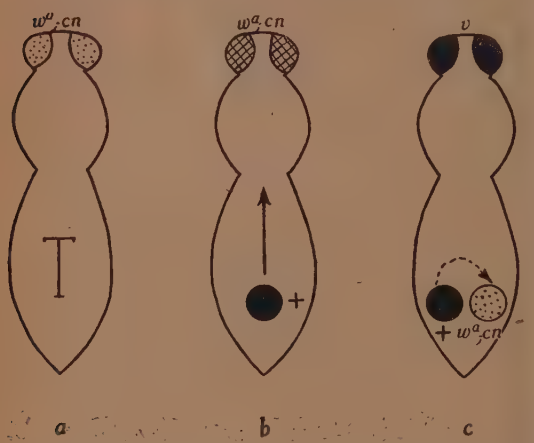

Fig. 8. — Libération et utilisation des substances $v+$ et $cn+$. *a*) témoin $w^a cn$; *b*) un œil + implanté dans un hôte $w^a cn$ modifie les yeux de celui-ci dans le sens w^a ; *c*) un œil + ne modifie pas l'œil $w^a cn$, lorsque les deux ébauches sont implantées côte à côte dans un hôte *v*. (D'après Ephrussi et Chevais, 1938).

12. — Conclusions.

Les conclusions que l'on peut tirer des recherches que nous venons d'exposer sont à la fois multiples et d'un grand intérêt. Les deux principales paraissent être les suivantes :

1) L'activité des gènes se manifeste par la production de substances diffusibles dont le mode d'action rappelle celui des hormones. Les exemples que nous avons donnés ne sont certainement pas uniques. Les recherches de Witschi, de Dantschakoff, de Wolff et Ginglinger, de Willier, de Raynaud, etc., que nous exposerons dans un prochain article de cette *Revue*, semblent établir que les gènes sexuels exercent leur action par l'intermédiaire de substances qui ne sont probablement pas identiques, mais qui sont de même nature que les hormones sexuelles de l'adulte.

Le mode d'action des substances élaborées par les gènes rappelle, d'autre part, singulièrement celui des substances produites par les organisateurs de l'embryon des Vertébrés (territoire cordo-mésodermique, cupule optique, etc.). Ainsi apparaît une fois de plus le parallélisme qui existe entre les mécanismes ontogéniques et génétiques, et par là se dégage la notion de l'unité fondamentale des processus qui assurent le développement.

2) Les déterminismes génétiques immuables, de même que les ontogénèses en mosaïque, se déroulant suivant un plan rigide, ne sont probablement que des cas spécialisés, des fins de séries évolutives. Le vivant comporte, en fait, toujours une marge d'indétermination, de labilité. Les développements « dépendants », les ontogenèses « régulatrices » sont bien plus conformes à l'image

de la vie que les modèles géométriques[5]. Par là les recherches sur le développement des caractères « dépendants » ramènent-elles la Génétique au centre de la véritable activité biologique.

A. Vandel,
Professeur à la Faculté
des Sciences de Toulouse.

5. L'opposition entre les deux types résulte d'ailleurs moins d'une question de nature que d'une différence dans l'époque à laquelle est fixé le sort des ébauches.

BIBLIOGRAPHIE

1937. *a*) Beadle (G.W.). *Proceed. Nat. Acad. Sc. Washington.* XXIII.
1937. *b*) Beadle (G.W.). *Genetics.* XXII.
1938. Beadle (G.W.), Anderson (R. L.) et Maxwell (J.). *Proceed. Nat. Acad. Sc. Washington.* XXIV.
1937. Beadle (G. W.), Clancy (C. W.) et Ephrussi (B.). *Proceed. R. Soc. London.* B. CXXII.
1935. Beadle (G. W.) et Ephrussi (B.). *Compt. Rend. Acad. Sc. Paris.* CCI.
1936. Beadle (G.W.) et Ephrussi (B.). *Genetics.* XXI.
1937. Beadle (G.W.) et Ephrussi (B.). *Americ. Natural.* LXXI.
1938. Beadle (G.W.) et Law (L. W.) *Proc. Soc. Exper. Biol. Med.* XXXVII.
1937. Becker (E.). *Naturwiss.* XXV.
1938. Becker (E.). *Naturwiss.* XXVI.
1937. Becker (E.) et Plagge (E.). *Naturwiss.* XXV.
1933. Caspari (E.). *Archiv. Entwickl. mech.* CXXX.
1938. Chevais (S.) et Steinberg (A.G.). *Compt. Rend. Acad. Sc. Paris.* CCVII.
1935. Cunha (A. Da). *Rev. Fac. Ciénc. Univer. Coimbra.* V.
1938. Ephrussi (B.). *Americ. Natural.* LXXII.
1935. *a*) Ephrussi (B.) et Beadle (G. W.). *Bull. Biol. France. Belgique.* LXIX.
1935. *b*). Ephrussi(B.) et Beadle (G. W.). *Compt. Rend. Acad. Sc. Paris.* CCI.
1936. Ephrussi (B.) et Beadle (G.W.) *Americ. Natur.* LXX.
1937. *a*) Ephrussi (B.) et Beadle (G.W.) *Genetics.* XXII.
1937. *b*) Ephrussi (B.) et Beadle (G.W.) *Bull. Biol. France. Belgique.* LXXI.
1937. *c*) Ephrussi (B.) et Beadle (G.W.). *Bull. Biol. France. Belgique.* LXXI.
1937. Ephrussi (B.) et Chevais (S.). *Proceed. Nat. Acad. Sc. Washington.* XXIII.
1938. Ephrussi (B.) et Chevais (S.). *Bull. Biol. France. Belgique.* LXXII.
1936. Ephrussi (B.), Clancy (C. W.) et Beadle (G.W.). *Compt. Rend. Acad. Sc. Paris.* CCIII.
1936. Ephrussi (B.) et Harnly (M.H.). *Compt. Rend. Acad. Sc. Paris* CCIII.
1938. Ephrussi (B.), Khouvine (Y.) et Chevais (S.). *Nature London.* CXLI.
1937. Gottschewski (G.) et Tan (C. C.) *Biol. Zentralbl.* LVII.
1925. Haecker (V.). *Bibliogr. Genetica.* I.
1937. Howland (R.B.), Glancy (E.A.) et Sonnenblick (B. P.). *Genetics.* XXII.
1937. Harnly (M. H.) et Ephrussi (B.). *Genetics.* XXII.
1937. Khouvine (Y.) et Ephrussi (B.). *Compt. Rend. Soc. Biol. Paris.* CXXIV.
1936. Khouvine (Y.), Ephrussi (B.) Harnly (M. H.) *Compt. Rend. Acad. Sc. Paris.* CCIII.
1937. Kikkawa (H.). *Zool. Magaz.* XLIX.
1936. Kühn (A.). *Nachr. Ges. Wiss. Göttingen; Nach. a. d. Biol.* II.
1935. Kühn (A.), Caspari (E.) et Plagge (E.). *Nachr. Ges. Wiss. Göttingen ; Nach. a ; d. Biol.* II.
1930. Kühn (A.) et Henke (K.). *Archiv. Entwicklmech.* CXXII.
1937. Kühn (A.) et Plagge (E.). *Biol. Zentralbl.* LVII.
1938. Neuhaus (M. E.) *Compt. Rend. Acad. Sc. U.R.S.S.* XX n°1.
1936. *a)* Plagge (E.). *Zeit. indukt. Abst. Vererb.* LXXII.
1936. *b)* Plagge (E.). *Nachr. Ges. Wiss. Göttingen ; Nach. a. d. Biol.* II.
1938. Plagge (E.) et Becker (E.). *Biol. Zentralbl.* LVIII.
1938. Reed (S. C.). *Jour. Exper. Zoöl.* LXXIX.
1920. Sturtevant (A. H.). *Proc. Soc. Exper. Biol. Med.* XVII.
1932. Sturtevant (A. H.). *Proceed. VI. Intern. Congr. Genetics. Ithaca.*
1937. Tan (C.C.) et Poulson (D.F.). *Jour. Genetics.* XXXIV.
1937. Thimann (K.-V.) et Beadle (G.-W.). *Proceed. Nat. Acad. Sc. Washington.* XXIII.
1931. Vandel (A.). *Bull. Biol. France. Belgique.* LXV.
1934. Whiting (A.-R.). *Jour. Genetics.* XXIX.
1932. Whiting (P.-W.). *Biol. Bull.* LXIII.
1934. Whiting (P.-W.) et Whiting (A.-R.). *Jour. Genetics.* XXIX.

NOUVELLE MÉTHODE D'EXPOSITION DES PRINCIPES DE LA THERMODYNAMIQUE ET DE LA NOTION D'ENTROPIE

Conférence faite à l'Université Catholique de Santiago pour les fêtes de son Cinquantenaire.

1. La thermodynamique, suivant le sens étymologique du terme, devrait être la science qui relie les phénomènes thermiques avec ceux qui font l'objet de la dynamique. En effet, cette science est née des expériences de Joule et autres sur les phénomènes calorifiques qui accompagnent certains mouvements, ainsi que des études de Carnot sur la force motrice que l'on peut obtenir à partir de la chaleur.

Cependant, le domaine de la thermodynamique est beaucoup plus vaste et, au lieu de constituer un appendice à la dynamique, comme on la considérait à ses débuts, c'est la dynamique tout entière qui, aujourd'hui, est devenue un chapitre de la thermodynamique. En effet, tout mouvement réel est inévitablement lié à des échanges thermiques et ce n'est que grâce à des abstractions et à des approximations que nous pouvons considérer certains cas comme relevant de la dynamique pure.

La thermodynamique est, d'ailleurs, encore plus vaste que cela car elle embrasse toutes les transformations des corps, et elle les étudie d'un point de vue tout à fait général, sans se préoccuper de la catégorie plus ou moins artificielle dans laquelle se classerait le phénomène étudié.

Ceci étant, il semblerait qu'une bonne compré-

hension des principes de cette science doive faire partie de la base de la Science de l'Ingénieur. Or, la plupart des élèves ingénieurs, bien que l'étude de ces principes figure plusieurs fois dans leurs programmes, ne parviennent pas à les assimiler convenablement et s'empressent trop souvent de les oublier dès qu'ils commencent à exercer leur métier. Je désirerais exposer ici le résultat des réflexions qui m'ont amené à simplifier l'exposé des principes de la thermodynamique sans que la simplification apportée à l'enseignement de la thermodynamique modifie en rien les résultats de cette science.

Dans les traités classiques, on commence par exposer le principe de l'équivalence et on définit l'*énergie interne* par l'équation

$$dU = JdQ - d\mathfrak{T}$$

où Q est la chaleur reçue de l'extérieur par le système, tandis que T est le travail effectué par lui.

On fait alors une étude des gaz parfaits et de leurs transformations *isothermes* et *adiabatiques*, ce qui permet de définir les *cycles* de Carnot. Ensuite, on donne différents énoncés du *principe* de Carnot, on démontre leur équivalence et on détermine la valeur du *rendement* d'un cycle de Carnot. Finalement, on prouve que ce rendement ne dépend que des températures extrêmes et on arrive ainsi à la définition des températures absolues qui satisfont la condition

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}.$$

Ceci fait, on définit une nouvelle entité, l'*entropie*, par la relation

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$$

qui n'est valable que si l'évolution considérée est réversible ; autrement, on aurait :

$$S_2 - S_1 > \int_1^2 \frac{dQ}{T}.$$

Comment s'étonner que, présentée de cette façon, la notion d'entropie ne soit pas des plus tangibles ?

2. La méthode d'exposition que nous préconisons serait la suivante : Dans les exemples qu'il est d'usage de présenter aux élèves lors de l'explication du principe de l'équivalence, il faut leur faire remarquer que toutes les formes d'énergie s'expriment en fonction de couples de variables : un couple pour chaque forme « pure » d'énergie. Dans chaque cas, ces variables peuvent être choisies de manière que toute variation de l'énergie d'un système soit de la forme

$$dW = I de$$

s'il s'agit d'une forme pure, ou

$$dW = I_1 de_1 + I_2 de_2 + \dots$$

si différentes formes d'énergie interviennent dans la transformation.

On observera donc que toute variation élémentaire d'une énergie déterminée s'exprime par le produit d'une variable finie par la différentielle d'une autre variable.

Si nous réunissons dans un tableau les variables du type I et celles du type e qui correspondent à chaque forme d'énergie, nous obtenons :

Nature de l'énergie	Intensité ou Variable de Niveau	Extensitéou Variable de Flux
Elastique (traction)	Force de traction	Allongement
Elastique (torsion)	Couple de torsion	Angle de torsion
Elastique (capillaire)	Tension superficielle	Surface
Elastique (volume)	Pression	Volume
Cinétique	Vitesse	Quantité de mouvement
Electrostatique	Potentiel électrostatique	Masse électrique
Magnétique	Potentiel magnétique	Masse magnétique
Gravifique	Potentiel gravifique	Masse matérielle
Chimique	Potentiel chimique	Masse
.....	.....	.....

Si nous considérons les variables qui se trouvent dans une même colonne du tableau ci-dessus, on observe qu'elles présentent entre elles de grandes analogies. Ainsi, toutes celles de la dernière colonne jouissent de la propriété d'être conservatives et de s'additionner par simple contact. En effet, la conservation de la quantité de mouvement, de la charge électrique ou magnétique et celle de la masse matérielle sont les principes fondamentaux de la mécanique, de l'électrostatique, du magnétisme et de la chimie. Quant aux allongements, angles de déformation, surfaces et volumes, ils se conservent également si l'on tient compte du changement, égal et de signe contraire, qu'éprou-

vent les éléments correspondants extérieurs au système. Quant à l'additivité directe, c'est une conséquence évidente de la propriété précédente.

Par contre, les variables de l'autre colonne, les intensités ou variables de niveau, ont des propriétés entièrement différentes. On observe, en effet, qu'elles ne s'ajoutent pas par simple contact comme les variables de flux : si l'on met en communication deux récipients qui contiennent un même gaz à des pressions différentes, la pression finale ne sera pas la somme des pressions primitives, mais bien une pression intermédiaire.

De plus, ces variables de niveau jouent un rôle prépondérant dans les échanges d'énergie. En effet, celle-ci s'écoule toujours du corps où son « niveau » est plus haut vers celui où sa valeur est plus faible, et cet écoulement se traduit par une diminution de la variable de flux dans le premier corps, compensée par une augmentation égale de l'extensité du second. Autrement dit, toute transformation énergétique est la conséquence du passage d'une certaine quantité de la variable de flux d'un corps où le « niveau » est plus haut, à un autre où il est plus bas. Par exemple, si l'on met en communication deux conducteurs électriques au même potentiel, rien ne se produit, même si les charges sont très différentes. Par contre, si les potentiels diffèrent, il passera de la charge du conducteur de plus haut potentiel à l'autre, jusqu'à ce que les « niveaux » s'égalisent, et ceci quel que soit le sens de la différence des charges.

Ces résultats étant bien établis par de nombreux exemples, on montre aisément que, dans le cas de la chaleur, la température a toutes les caractéristiques d'une variable de niveau. On en déduit immédiatement que le principe de Carnot, sous l'énoncé : « On ne peut produire du travail d'une manière continue que si l'on dispose d'au moins deux sources de chaleur à des températures différentes », n'est qu'une conséquence évidente de ce qui précède. En effet, nous avons vu qu'un « flux » permanent ne peut se produire que grâce à une différence également permanente des variables de niveau correspondantes. Par conséquent, le principe de Carnot ne s'applique pas uniquement à la chaleur mais bien à toute espèce d'énergie.

3. Commençons par considérer exclusivement des phénomènes réversibles, c'est-à-dire où il n'y ait ni frottements, ni chocs, et dans lesquels il n'y ait jamais contact de parties dont les « niveaux » présentent une différence finie. Remarquons que cette dernière condition n'est autre qu'une généralisation de l'absence de chocs ; en effet, un choc mécanique correspond au contact de deux corps dont les niveaux cinétiques sont différents.

Si nous admettons ces restrictions, il ne nous reste plus qu'à définir la variable de flux thermique pour compléter notre tableau. Son nom est *entropie* et sa définition donnée par

$$dQ = T dS$$

où T est la température absolue et dS, la différentielle de l'entropie.

Nous allons nous arrêter quelques instants sur la définition de l'échelle des températures parce que ce que nous allons en dire est applicable à toute échelle rationnelle d'intensités. Pour cela nous aurons recours à l'exemple plus familier de la gravitation.

Considérons une masse invariable m, connue ou non, et supposons connue son énergie potentielle totale par rapport aux autres masses de l'Univers. Soient W_1, W_2... les valeurs respectives de cette énergie pour les positions (1), (2)... de la masse considérée. Nous aurons une échelle rationnelle des « niveaux » (potentiels gravifiques) si nous définissons ceux-ci comme proportionnels aux énergies corerspondantes de la masse m :

$$\frac{I_1}{W_1} = \frac{I_2}{W_2} = \frac{I_3}{W_3} = \ldots = K.$$

Dans l'échelle usuelle — qui n'est pas rationnelle — on confond les potentiels gravifiques avec la cote en mètres, mesurée à partir d'un plan zéro arbitraire ; de plus, on ignore la valeur absolue des énergies gravifiques W_1, W_2... Par contre, on peut toujours déterminer la différence de leurs valeurs pour deux positions (1) et (2) de la masse m ; on a en effet :

$$W_1 - W_2 = m \int_1^2 g dz$$

Admettons que les positions (1) et (2) correspondent respectivement aux cotes 0 et 100 de l'échelle usuelle ; nous pouvons choisir le coefficient de proportionnalité K de façon que

$$I_2 - I_1 = K (W_2 - W_1) = 100 ;$$

l'échelle des potentiels gravifiques est alors parfaitement déterminée. Il est d'ailleurs tout à fait évident que, dans cette nouvelle échelle, le zéro se trouve rejeté à l'infini.

Les niveaux étant ainsi définis, la masse m le sera à son tour par la condition

$$dW = I dm.$$

Pour définir les températures absolues, le procédé serait exactement le même : prendre une quantité quelconque mais invariable d'entropie et faire varier sa température par des procédés réversibles. Les températures seront définies par la condition de proportionnalité avec les énergies thermiques correspondantes et une autre condition arbitraire. Par exemple, on exigera que la diffé-

rence des températures absolues de la glace fondante et de l'eau bouillante soit de 100°. C'est bien ainsi que l'on définit l'échelle absolue ou Kelvin des températures.

La température absolue étant ainsi définie, l'entropie l'est à son tour par la condition

$$dQ = TdS$$

et son unité, que je propose d'appeler Carnot, se définira comme le flux thermique qui doit passer réversiblement d'une source à un corps, tous deux à la température T, pour que l'énergie du corps augmente de T calories.

Avec ces définitions et tant que nous nous limiterons à considérer des phénomènes réversibles, l'analogie entre la chaleur et les autres énergies est complète.

Par exemple, il n'y a aucune différence entre une turbine parfaite qui fonctionne entre deux réservoirs dont les potentiels sont I_1 et I_2 avec un débit de m litres par seconde d'une part, et une machine thermique, également parfaite, qui fonctionnerait entre deux sources de température T_1 et T_2 et à travers laquelle le flux de chaleur serait S Carnots par seconde. La puissance de la turbine sera :

$$P = m(I_2 - I_1) = mg(H_2 - H_1)$$

tandis que celle de la machine thermique sera :

$$P = JS(T_2 - T_1).$$

Remarquons que si nous voulions expliquer le fonctionnement de la turbine hydraulique en ne parlant que des potentiels et des énergies gravifiques de l'eau, à l'entrée et à la sortie de la machine, il nous faudrait définir le débit par la relation

$$dm = \frac{dW_1}{I_1} = \frac{dW_2}{I_2}.$$

Par conséquent, pour un réservoir qui échange de l'eau réversiblement avec différents autres dont les potentiels sont I_1, I_2, etc., la quantité totale d'eau reçue serait donnée par

$$m = \int \frac{dW}{I}.$$

Pour un cycle fermé, on aurait donc

$$\int \frac{dW}{I} = 0,$$

relation tout à fait analogue à celle de Clausius. Il me semble bien évident qu'aucun professeur de machines hydrauliques n'aurait l'idée d'exposer ainsi leur théorie; c'est pourtant ce que font tous les ouvrages classiques pour les machines thermiques.

Une autre singularité de la thermodynamique est la définition que l'on y donne du rendement. En effet, au lieu de le définir comme le rapport du travail produit à la différence entre l'énergie qui entre dans la machine et celle qui en sort pendant le même temps — comme on le fait pour tous les moteurs non thermiques —, la thermodynamique appelle rendement le rapport du travail obtenu à l'énergie absolue entrante, sans déduction de l'énergie sortante.

Etant donné que, comme nous l'avons vu, le travail obtenu est

$$\mathcal{C} = JS(T_2 - T_1)$$

tandis que la chaleur qui entre dans la machine est JST_2, le rendement thermique sera :

$$\eta = \frac{JS(T_2 - T_1)}{JST_2} = 1 - \frac{T_1}{T_2}.$$

Nous reviendrons plus tard sur ce point, mais il est nécessaire de bien remarquer que le même mot « rendement » ne désigne pas la même chose en thermodynamique que dans les autres sciences, car cela conduit, croyons-nous, à des idées fausses sur l'infériorité de l'énergie thermique.

4. L'analogie parfaite qui existe entre la chaleur et les autres formes d'énergie, en ce qui concerne les phénomènes réversibles, permet de dissiper de nombreuses difficultés qui arrêtent généralement les débutants. Considérons, par exemple, la relation

$$dU = JdQ - d\mathcal{C} = JTdS - pdv$$

qui représente l'énergie interne d'un système renfermant à la fois de la chaleur et de l'énergie de volume; un gaz, par exemple.

Les ouvrages de thermodynamique insistent sur le fait que, pour un état donné, l'énergie interne, U, est bien définie, alors qu'au contraire, la chaleur, Q, reçue par les gaz et le travail, T, produit par lui, dépendent de son histoire antérieure. Ceci devient tout à fait clair grâce à une comparaison. Considérons un réservoir déformable plein d'eau, dont les parois latérales peuvent s'approcher ou s'éloigner. Admettons, de plus, que ce réservoir communique avec un lac de niveau invariable, au moyen d'une conduite sur laquelle se trouve une pompe-turbine réversible et parfaite. Appelons *énergie hydraulique* celle produite ou absorbée par la pompe-turbine, tandis que nous nommerons *énergie de déformation* celle que l'on obtient ou que l'on dépense en déplaçant les parois du réservoir.

Faisons fonctionner la pompe-turbine et déplaçons les parois d'une manière quelconque. A un instant donné, il nous suffit de connaître le volume d'eau contenu dans le réservoir et la hauteur de son centre de gravité sur le niveau du lac, pour déterminer l'énergie potentielle totale qu'il contient. Par contre, à moins de connaître l'histoire exacte du fonctionnement de la pompe et des déformations, il nous est impossible de fixer

la part de l'énergie totale qui correspond à l'énergie hydraulique et à celle de déformation.

Le cas du gaz est absolument analogue. Son énergie interne est entièrement thermique mais nous la décomposons en *chaleur sensible* et en *énergie élastique*. La première correspond à l'*énergie hydraulique* de l'exemple antérieur, tandis que la seconde est l'analogue de notre *énergie de déformation*.

La comparaison précédente nous permet de saisir clairement en quoi consistent les transformations isothermes et adiabatiques. En effet, il y a deux façons d'augmenter l'énergie gravifique de notre réservoir : en y ajoutant de l'eau, ou en élevant le niveau de celle qu'il contient déjà. Le premier procédé provoquera, en général, une élévation du niveau mais on peut l'éviter si l'on déforme convenablement le réservoir. Si, malgré l'arrivée du liquide, le niveau se maintient invariable, nous obtenons l'image d'une transformation isotherme. Au contraire, si nous déformons le réservoir sans altérer son contenu, nous avons l'équivalent d'une transformation adiabatique.

On voit donc que ce qui caractérise la transformation adiabatique, c'est la condition entropie constante et qu'on doit la définir par $dS = 0$. Il est vrai que, *si la transformation est réversible*, on a $dQ = T dS$ et l'invariance de S implique celle de Q ; une transformation adiabatique *réversible* peut donc aussi être caractérisée par la condition $dQ = 0$. En ce cas, il ne faut pas oublier que Q ne représente pas la chaleur contenue dans le gaz mais seulement celle qu'il a reçue de l'extérieur. C'est ainsi que la chaleur contenue dans un gaz augmente lors d'une compression adiabatique réversible, en dépit de l'équation $dQ = 0$.

Au lieu d'un réservoir déformable, nous aurions pu considérer un conducteur électrostatique déformable où, en général, n'importe quel système dont l'énergie dépende de deux variables indépendantes. On pourra toujours le faire évoluer selon des cycles analogues à ceux de Carnot et vérifier la généralité de la formule du rendement au sens thermodynamique.

5. Considérons, maintenant, des *phénomènes réels*, c'est-à-dire irréversibles ; c'est ici que nous allons voir apparaître la différence entre l'énergie thermique et les autres. A cet effet, nous allons étudier parallèlement le cas d'une variable de flux quelconque, non thermique, de, qui passe du niveau I_1 au niveau I_2, et celui d'une quantité d'entropie, dS, qui passe de la température T_1 à la température T_2.

Si les évolutions sont réversibles, on a :

$$d\mathcal{E} = (I_1 - I_2)\, de\,; \qquad d\mathcal{E} = J\,(T_1 - T_2)\, dS.$$

Par contre, si elles sont irréversibles, les ouvrages classiques en donnent une description entièrement différente selon qu'il s'agit d'une énergie thermique ou non. En effet, pour l'énergie « supérieure », on a :

$$d\mathcal{E} < (I_1 - I_2)\, de$$

mais il apparaît en même temps une quantité de chaleur, dQ', telle que

$$J dQ' = (I_1 - I_2)\, de - d\mathcal{E}$$

de sorte que le principe de la Conservation est respecté.

Au contraire, pour l'énergie thermique, en appelant dQ_1 la chaleur cédée par la source chaude et dQ_2 celle reçue par la source froide, l'exposition classique serait :

$$d\mathcal{E} < dQ_1\left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right),$$
$$J dQ_2 = J dQ_1 - d\mathcal{E}.$$

On n'aperçoit aucune analogie entre ces formules et celles du cas antérieur : la chaleur semble constituer un cas tout à fait différent. Nous allons voir, cependant, que la similitude existe et que seule la méthode d'exposition adoptée nous la cache.

La chaleur supplémentaire, dQ', que l'irréversibilité fait apparaître dans l'eau qui tombe est due à une augmentation de son entropie ; en effet, il ne saurait en être autrement puisque une augmentation de chaleur à entropie constante est un phénomène essentiellement réversible. Par conséquent au lieu de dire que la chute irréversible de de, de I_1 à I_2, s'accompagne de la création de la chaleur dQ', nous dirons qu'elle s'accompagne de l'apparition d'une entropie supplémentaire. dS', définie par

$$J dS' = \frac{(I_1 - I_2)\, de - d\mathcal{E}}{T_2}.$$

L'évolution non thermique sera donc caractérisée par les conditions

$$d\mathcal{E} < (I_1 - I_2)\, de\,; \qquad J dS' = \frac{(I_1 - I_2)\, de - d\mathcal{E}}{T_2}.$$

Pour une transformation thermique, au lieu de la chaleur dQ_1 cédée par la source chaude, nous considérons l'entropie $dS = dQ_1/T_1$, fournie par elle et qui tombe de T_1 à T_2. Cette chute étant irréversible, il se produira une entropie additionnelle dS' et nous aurons :

$$d\mathcal{E} < J\,(T_1 - T_2)\, dS\,; \qquad J dS' = \frac{J\,(T_1 - T_2)\, dS - d\mathcal{E}}{T_2}.$$

L'analogie entre ces formules et celles obtenues pour l'évolution non thermique est tout à fait évidente. Nous pouvons donc résumer les deux cas en une seule formule, un peu plus générale, dans

laquelle plusieurs formes d'énergie peuvent intervenir simultanément.

On a ainsi, pour toute évolution permanente

$$(I)\qquad \boxed{\begin{array}{c} d\mathcal{C} \leqslant J\,(T_1 - T_2)\,dS + \Sigma\,(I_1 - I_2)\,de \\ dS' = \dfrac{J\,(T_1 - T_2)\,dS + \Sigma\,(I_1 - I_2)\,de - d\mathcal{C}}{J\,T_2} \end{array}}$$

tandis que, pour une transformation élémentaire quelconque, on aurait :

$$(II)\qquad \boxed{\begin{array}{c} d\mathcal{C} \leqslant J\,T\,dS + \Sigma\,I\,de \\ dS' = \dfrac{J\,T\,dS + \Sigma\,I\,de - d\mathcal{C}}{J\,T} \end{array}}$$

Dans ces formules, les T et les I représentent les « niveaux » des sources extérieures au système. Dans les parenthèses, l'indice 1 se rapporte à l'état initial, l'indice 2, à l'état final.

Ces formules, absolument générales, nous montrent en même temps l'analogie et la différence de la chaleur comparée aux autres énergies. Analogie, puisque ces formules s'appliquent à toutes les transformations sans exception. Différence, parce que l'irréversibilité se traduit toujours par une création d'entropie, variable de flux thermique, quelle que soit la variable de flux qui évolue ; tandis que toutes les autres variables de flux conservent leur valeur pendant l'évolution.

Elles nous montrent aussi que l'expression JT'dS', produit de l'entropie créée par la température à laquelle elle apparaît, égale la différence entre le travail que l'on aurait pu obtenir, si l'évolution était réversible, et celui réellement obtenu. Si nous remarquons que cette même expression peut s'écrire

$$J dS'\,(T' - 0),$$

nous voyons qu'elle représente le travail nécessaire pour amener réversiblement cette entropie, dS', du zéro absolu à la température T'. Par conséquent, on peut énoncer le principe suivant :

La création de l'entropie dS *à la température T représente une perte d'énergie utilisable égale à* $JT dS$. Si l'on désigne par F l'énergie utilisable, on pourra écrire

$$dF = -\,JT dS.$$

Considérons un système monotherme, c'est-à-dire, ne disposant que d'une seule source à la température T_0 ; c'est, en réalité, le cas de tous nos moteurs thermiques. Supposons que, comme conséquence d'une évolution de ce système, l'entropie additionnelle dS apparaisse à la température T ; comme nous venons de le voir, ceci correspond à une perte d'énergie utilisable donnée par

$$dF = -\,JT dS.$$

Mais nous pouvons faire écouler cette entropie jusqu'à la source ; cette opération faite réversiblement produit le travail (positif ou négatif)

$$d\mathcal{C} = J\,(T - T_0)\,dS$$

par conséquent, la perte finale d'énergie utilisable sera

$$d\mathcal{C} + dF = -\,JT_0\,dS.$$

On retrouve ainsi le Théorème de Gouy d'après lequel l'énergie utilisable d'un système monotherme est donnée par

$$F = U - JT_0S.$$

Pour mieux fixer les idées sur les résultats antérieurs, nous allons considérer un simple problème de chauffage. Soit une enceinte qui exige Q_1 calories par seconde pour maintenir sa température à $T_1 = 293°K$, quand celle de l'extérieur est $T_0 = 273°K$.

Le procédé usuel est d'employer un poêle de température $T' > T_1$, qui fournisse les calories nécessaires ; l'énergie dépensée par seconde est

$$W = JQ_1.$$

D'après nos méthodes, nous interpréterons l'opération d'une manière différente. Nous dirons que le poêle fournit un flux d'entropie de

$$S = \frac{Q_1}{T'}$$

Carnots par seconde.

Ceux-ci s'écoulent, sans produire de travail, de T' à T_1, ce qui, d'après notre formule fondamentale, correspond à une création d'entropie.

$$S' = \frac{Q_1}{T'}\,\frac{T' - T_1}{T_1} = Q_1\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T'}\right) \text{ carnots/sec.}$$

Par conséquent, l'enceinte reçoit bien

$$S + S' = Q_1\left(\frac{1}{T'} + \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T'}\right) = \frac{Q_1}{T_1} \text{ carnots/sec.}$$

quantité d'entropie indépendante de T', température du poêle, et égale au flux de pertes de l'enceinte.

Si, au lieu de procéder ainsi, nous prenions ces Q_1/T_1 Carnots dans l'atmosphère et les introduisions dans l'enceinte après avoir élevé leur température à T_1 par un procédé réversible, l'énergie dépensée serait :

$$W' = J\,\frac{Q_1}{T_1}\,(T_1 - T_0) = \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right) W$$

Avec les valeurs numériques indiquées plus haut, on a

$$W' = 0{,}068\ W$$

c'est-à-dire que cette seconde méthode réaliserait une économie de 93,2 % sur la première.

Cette seconde méthode dépense du travail, énergie supérieure ; nous pouvons cependant avoir recours à une troisième méthode qui n'emploie que l'énergie thermique du poêle dont nous supposerons la température $T' = 1473°K$.

Au lieu de laisser tomber irréversiblement les

Carnots qu'il produit de T' à T_1, faisons-les écouler à travers une machine parfaite, jusqu'à la température T_0 de l'atmosphère, et employons le travail ainsi obtenu à réaliser ce que nous venons de décrire comme seconde méthode de chauffage. En désignant par Q'/T' les carnots fournis par le poêle, on doit avoir :

$$J\frac{Q'}{T'}(T' - T_0) = W',$$

et l'énergie dépensée sera

$$W'' = JQ' = \frac{T'}{T' - T_0}W' = 1{,}23\,W' = 0{,}084\,W.$$

On voit que cette troisième méthode réaliserait une économie de combustible de plus de 91 % par rapport au chauffage direct.

6. Pour terminer, nous allons revenir sur les critiques déjà formulées au sujet de la définition du rendement thermique. On prétend la justifier en remarquant que, comme il représente la proportion maxima de l'énergie fournie par la source chaude qui peut être convertie en travail, il limite dans la même proportion ce que l'on peut transformer en travail de l'énergie chimique des combustibles. A mon avis, cet argument est sans valeur et, ce qui est plus grave, conduit à des idées fausses.

En effet, les seules machines thermiques qui pourraient vraiment être considérées comme évoluant entre deux sources thermiques, seraient les turbines Claude-Boucherot, destinées à utiliser la différence de 20° à 25° existant entre les couches superficielle et profonde des mers tropicales. Par contre, considérer la chaudière et le condenseur d'une machine à vapeur comme deux sources thermiques, est une fiction tout à fait arbitraire et, en tout cas, inapplicable aux moteurs à combustion interne. En réalité, le fonctionnement de toute machine où un combustible produit du travail, doit être assimilé à une évolution *monothermique ouverte*; en effet, le combustible ne revient pas à son état initial et, en dernière analyse, toute la chaleur est échangée avec l'atmosphère.

Cela étant, la seule définition logique du rendement thermique serait le rapport du travail obtenu à l'énergie chimique du combustible brûlé. Or, nous allons voir que les rendements ainsi définis ne sont pas limités par la formule de Carnot mais uniquement par l'irréversibilité des phénomènes mis en jeu.

En effet, considérons une machine en régime permanent (si son fonctionnement est cyclique, nous considérerons un nombre entier et grand de ces cycles). Le combustible et l'air nécessaire à sa combustion pendant l'intervalle considéré contiennent, à la température ambiante T_0, l'entropie S_0. Soient, M leur masse μ_1 et μ_2 leurs potentiels chimiques avant et après combustion; l'énergie de combustion sera

$$W_c = M(\mu_1 - \mu_2).$$

Au lieu de brûler irréversiblement ce combustible, comme d'habitude, élevons réversiblement sa température et sa pression jusqu'à ce que sa réaction de combustion devienne réversible. La réversibilité parfaite correspond à l'équilibre chimique, mais nous pouvons réaliser la combustion en plaçant combustible et comburant dans des conditions qui diffèrent très peu de l'équilibre. Dans ces conditions, il n'y aura pas de création d'entropie, il n'y aura qu'augmentation de la température et de la pression.

Comme l'énergie élastique est complètement transformable en travail, j'admettrai — pour mettre les choses au pire — que la composition réversible se réalise à pression constante. Soient T_1 la température initiale et T_2 la température finale de la combustion. On aura

$$W_c = S_0 J(T_2 - T_1)$$

tandis que la compression et le chauffage préalables correspondront au travail.

$$\mathcal{C}_c = -S_0 J(T_1 - T_0).$$

Or, les produits de la combustion contiennent la quantité de chaleur $Q_2 = S_0 T_2$ qui, selon la formule de Carnot, produira le travail

$$\mathcal{C}_c = JS_0T_2\left(1 - \frac{T_0}{T_2}\right) = JS_0(T_2 - T_0).$$

Comme il nous faut déduire de ce dernier le travail de précombustion, le travail utile obtenu sera

$$\mathcal{C}_u = \mathcal{C}_c + \mathcal{C}_c = JS_0(T_2 - T_0 - T_1 + T_0) = JS_0(T_2 - T_1)$$

c'est-à-dire, le travail utile fourni par la machine est égal à l'énergie chimique du combustible et indépendant de la température de combustion.

Autrement dit, *le Théorème de Carnot ne s'oppose nullement à ce que l'énergie chimique des combustibles soit convertie intégralement en travail.* Ce qui, dans la pratique, s'oppose à cette conversion, c'est notre incapacité technique de réaliser des combustions réversibles qui, d'ailleurs, comme n'importe quel autre phénomène réversible, correspondraient à une puissance infiniment faible [1], et aux phénomènes de conduction thermique qui créent de l'entropie.

Nous savons que, si l'entropie finale est $S' + S_0$, S_0 étant l'entropie initiale, on a une

(1) Par exemple, dans une turbine hydraulique, la réversibilité exigerait une vitesse de sortie de l'eau extrêmement faible, ce qui implique une puissance également faible.

perte minima d'énergie utilisable égale à JST_0 de sorte que

$$\mathfrak{S} = W_c - JST_0$$

ce qui correspond à un rendement vrai

$$r = \frac{\mathfrak{S}}{W_c} \leq 1 - \frac{JST_0}{W_c}.$$

On déduit de tout ceci que, pour améliorer le rendement d'une machine thermique, il n'est nullement indispensable d'augmenter l'intervalle des températures entre lesquelles elle fonctionne; ce que l'on doit chercher c'est d'approcher de la réversibilité.

Le meilleur rendement obtenu dans les machines à vapeur par une élévation de la température de celle-ci, n'est pas une conséquence du meilleur « rendement thermique » défini par la formule de Carnot; c'est une conséquence de la moindre différence de température entre les gaz de combustion et la vapeur, ce qui réduit d'autant la création d'entropie par conduction thermique.

7. Les considérations qui précèdent nous amènent à formuler les quelques conclusions suivantes :

1° L'entropie n'est pas autre chose que la variabel de flux de l'énergie thermique; quelque chose d'aussi concret que les litres d'eau qui s'écoulent à travers une turbine ou les coulombs qui passent dans un moteur électrique;

2° Elle diffère des autres variables de flux en ce qu'elle ne se conserve pas. Au contraire, elle tend à croître aux dépens de l'énergie utilisable, comme l'indiquent nos formules fondamentales (I) et (II);

3° Le principe de Carnot est absolument général et ne limite aucunement la convertibilité en travail des quantités de chaleur créées par d'autres formes d'énergie. Ce qui limite cette conversion, c'est-à-dire le rendement réel des machines thermiques, c'est la grande dsitance à laquelle se trouvent nos réalisations pratiques de la réversibilité parfaite.

Cette remarque est d'importance, car elle nous indique la voie du progrès : s'approcher de la réversibilité dans les phénomènes thermiques comme on le fait en hydraulique et en électrotechnique.

L. Claude,
Ingénieur civil à Santiago.

BIBLIOGRAPHIE

ANALYSES ET INDEX

1° Sciences physiques et chimiques.

Annuaire astronomique et météorologique, Camille Flammarion pour 1939. — 1 *vol. de 474 p. Prix :* 18 *fr. (Flammarion Ed., Paris).*

L'annuaire Flammarion qui vient de paraître pour l'année 1939 est aussi intéressant que les années précédentes. En plus des données astronomiques pour 1939, on y trouvera des notices scientifiques sur le Soleil, sur les aurores boréales et les évanouissements constatés sur les ondes courtes pendant l'année précédente en rapport avec l'activité solaire; sur les petites planètes nouvelles, et les progrès de l'astronomie en 1938; enfin sur différents phénomènes relatifs à la Physique du globe. Cet annuaire est indispensable aussi bien aux professionnels qu'aux nombreux amateurs d'Astronomie.

Th. Moreux.

Asociación Química Argentina. — 25 *Aniversario* (1912-1937). — 1° *Fundación. Obra realizada,* 1 *vol. in-8°,* 56 *p.* — 2° *Actos celebrados,* 1 *vol. in-8°,* 38 *p.* — *Establecimiento gráfico « Tomás Palumbo », Buenos-Aires,* 1937.

Pour célébrer ses vingt-cinq années d'existence, l'*Asociacion quimica Argentina* a organisé à Buenos-Aires, sous la présidence de M. le Dr Raul Wernicke, son président, un congrès qui a obtenu le succès le plus brillant. Bien que jeune, si on le compare à la « Chemical Society » de Londres qui fut fondée il y a près d'un siècle, l'Association Argentine a cependant fourni une carrière des mieux remplies. Si, par suite de la rapidité du développement économique de la République Argentine, l'attention des chimistes a été sollicitée surtout par des problèmes d'ordre utilitaire d'application immédiate, les recherches de science pure n'ont pas pour cela été négligées par les savants de cette grande nation. Il suffirait, pour s'en rendre compte, de parcourir la liste des publications telles que la « *Revista de la Facultad de Ciencias quimicas de la Plata* », les « *Anales de la Facultad de Quimica industrial y agricola* », les « *Anales de Farmacia y Bioquimica* », la « *Revista farmaceutica* ».

L'essor que prit l'industrie chimique en Argentine pendant et après la Grande Guerre ne fut possible que grâce aux chimistes sortant des Facultés de ce pays et qui dirigèrent les laboratoires des usines et les différentes fabrications. Il faut lire les pages des deux opuscules publiés par l'*Asociacion quimica Argentina* pour se rendre compte exactement de la place que tiennent aujourd'hui les sciences chimiques dans la vie intellectuelle et industrielle de la grande Nation sud-américaine. M. R.

Barkhausen. — Elektronen-Rohren, Band 4, Gleichrichter und Empfanger. — 1 *vol. de 294 pages avec 147 figures et 3 planches hors-texte. Librairie S. Hirzel à Leipzig. Broché,* 7,50 *R. M.*

Le quatrième tome du traité de M. Barkhausen sur les tubes électroniques comprend trois parties : la première consacrée aux tubes redresseurs des courants non modulés où sont envisagés successivement les tubes sans grille, les tubes avec grille; la seconde, relative aux récepteurs des courants modulés comprenant la théorie des couplages et la théorie des tubes; la troisième ayant pour objet l'étude des récepteurs de radiodiffusion.

L'ouvrage très documenté sera particulièrement utile aux physiciens et aux techniciens de la radioélectricité; à côté des exposés théoriques, l'auteur fait toujours une large place aux données pratiques, chaque déduction théorique étant illustrée d'un exemple accompagné de schémas et de données numériques qui permettent la réalisation du montage étudié.

A. B.

De Donder (Th.). — **Théorie nouvelle de la mécanique statistique.** — 1 *vol. in-8° de 83 pages. Gauthier-Villars, Paris,* 1938.

La théorie statistique nouvelle que développe M. de Donder est basée essentiellement sur le fait que les définitions et les principes y sont exprimés au moyen de dérivées par rapport à l'extension en phase. C'est ainsi que l'auteur obtient la nouvelle notion de potentiel chimique rapporté à une particule; il en déduit immédiatement la forme de la loi statistique générale sur laquelle repose toute sa théorie. L'entropie par unité d'extension en phase est exprimée sous une forme nouvelle et particulièrement intéressante.

L'auteur envisage le passage des notions microscopiques (ou par unité d'extension en phase) aux notions macroscopiques (ou par unité de volume). Il établit la relation thermodynamique fondamentale de Gibbs et il étend tous les résultats précédemment obtenus aux systèmes quantifiés; il étudie ensuite l'application systématique de son équation de transport à la dynamique des systèmes massiques et il obtient ainsi les lois statistiques maxwelliennes, la dynamique des systèmes continus et les équations hydrodynamiques de E. F. Cosserat. Appliquant de même sa théorie générale aux gaz, il obtient la forme relativiste de la quantification électronique. Enfin, il montre comment on peut retrouver la statistique classique et celle de Fermi ou de Bose, et il précise les liens existant entre la statistique générale et la loi statistique classique.

Cette magistrale étude de M. de Donder constitue un nouveau chaînon de ses admirables recherches de Physique mathématique, qui font du savant professeur de l'Université libre de Bruxelles l'un des théoriciens les plus en vue de la Physique. Ses travaux, et ceux de la jeune équipe de savants qu'il a su grouper autour de son enseignement, méritent au plus haut point de retenir l'attention de tous ceux qui s'intéressent au magnifique essor des théories physiques. Sur bien des points, ces théories s'étaient parfois développées jusqu'ici d'une manière assez irrégulière et sans toute la rigueur que souhaitent les esprits épris de logique. Dans ses travaux, M. de Donder a su allier un sens très vif de l'intuition à une rigueur impeccable des raisonnements déductifs, et ce double caractère ne contribue pas peu à la puissante originalité de son œuvre.

A. Boutaric.

2° Sciences naturelles.

Huber-Pestalozzi (G.), *Dr phil. et méd., Zurich.* — **Das Phytoplankton des Süsswassers. Systematik und Biologie.** *Die Binnengewässer* (A. Thienemann), XVI, 1. *Teil.* — 1 *vol. gr. in-8° de* VII + 342 *pages et* 395 *fig.* (*Prix hors d'Allemagne, br* : 31 *RM; rel.* : 33 *RM.* : *en Allemagne, br.* : 42 *RM; rel.* : 44 *RM. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandl. édit., Stuttgart,* 1938.

Ce volume comprend deux parties. Dans la première sont rassemblées des généralités sur le plancton végétal des eaux douces : revue des travaux consacrés à l'étude du sujet, composition du phytoplancton dulcaquicole, divers types d'eaux douces stagnantes, modifications du milieu causées par le phytoplancton, genèse de celui-ci, répartition de la flore planctonique en profondeur et en surface, dissémination des éléments planctoniques, pénétration dans les places vides, comparaison entre le phytoplancton de la mer et celui de l'eau douce, variations saisonnières de la forme des végétaux planctoniques, épibiontes et parasites de ces organismes, culture et conservation du plancton, etc.

La seconde partie est consacrée à l'étude systématique des Cyanophycées, des Bactéries et formes bactéroïdes, et des Champignons (*Asterothrix p. parte* et *Planktomyces*) qui entrent dans la composition du plancton des eaux douces de la terre entière. Des clés dichotomiques conduisent aux genres et aux espèces; de chacune de celles-ci, l'auteur donne une description courte mais substantielle, presque toujours illustrée; la diagnose est suivie de renseignements biologiques et géonémiques; un index bibliographique termine l'étude de chaque groupe.

Le volume XVI de la même collection comportera trois autres ouvrages, dans lesquels seront examinés les autres constituants de la flore planctonique d'eau douce : l'un d'eux (Teil 2), consacré aux Chrysophycées, aux Hétérocontes et aux Diatomées, va sortir des presses; le suivant traitera des Cryptomonades, Péridiniens, Chloromonades et Euglènes, et le dernier des Chlorophycées et des groupes à position incertaine.

R.

Pardé (Léon) et **Pardé** (Maurice). — **Arbres et fo êts.** — 1 *vol. in*-16, 224 *p. Coll. Armand Colin, Paris* 1938.

Avec une concision accompagnée toujours de la plus vive clarté les auteurs nous disent la richesse, la majesté, la signification de la forêt dans la parure végétale de notre globe. Chacun des chapitres de l'ouvrage captive l'attention, mais certains sont présentés avec un rare bonheur d'argumentation, tel celui consacré à « l'homme destructeur et créateur de forêt »; tout en regrettant certains déboisements, les auteurs font valoir, en contre-partie, les reboisements importants réalisés en France et dans divers pays. Les chapitres sur les principaux types de forêts et la richesse forestière du globe, abondent en renseignements statistiques bien présentés et d'un intérêt puissant. La seconde moitié de l'ouvrage est consacrée aux forêts françaises (les arbres, les régions forestières naturelles, l'homme et la forêt); enfin, pour terminer, vingt pages, sur les produits et les services rendus par la forêt.

A l'heure où l'on parle de reboiser plusieurs millions d'hectares inaptes à l'agriculture en France, où un effort intensif en vue de l'utilisation des véhicules actionnés par des moteurs au gaz des forêts est fait par l'Administration des Eaux et Forêts, un petit livre tel que « Arbres et forêts » ne pouvait paraître avec plus d'à-propos.

M. R.

3° Art de l'Ingénieur.

Granier (J.). — **Les régulateurs.** — 1 *vol. in*-8° *de* 195 *p. avec* 163 *figures ; Paris, Dunod,* 1939 *(Prix, broché :* 68 *fr.).*

Il semble qu'on puisse, à juste titre, reprocher parfois à la production scientifique contemporaine son excès de spécialisation; aussi convient-il de signaler particulièrement l'originalité et l'intérêt d'un travail de synthèse comme celui que M. Granier, professeur à la Faculté des Sciences de Besançon, vient de consacrer au problème de la régulation.

Il n'est pas exagéré de dire que l'auteur passe ainsi en revue toute la physique, y compris la mécanique; son ouvrage est excellemment défini par ces lignes, empruntées à la préface de M. Fabry : « Les physiciens y trouveront de belles applications, parfois peu connues, toujours intéressantes, des lois de la physique; les techniciens y trouveront, sans détails fastidieux et inutiles, le principe des méthodes de régulation dont ils peuvent avoir à se servir ».

Ph. Tongas.

La Technique des Industries du Pétrole. — 1 *vol. in*-4° *de* 192 *pages ; Editions* Science et Industrie, *Paris,* 1938 *(Prix, broché :* 40 *fr.).*

Cet ouvrage est le sixième numéro spécial annuel que « Science et Industrie » consacre à la technique des industries du pétrole, dont la caractéristique est d'être en rapide et constante évolution.

Il contient d'abord un intéressant compte rendu sur les travaux du 2e Congrès mondial du Pétrole, tenu à Paris en 1937.

Il comporte aussi un exposé complet des questions importantes à l'ordre du jour, parmi lesquelles domine celle de l'obtention d'essence à haut nombre d'octane.

Sa lecture apporte la preuve que, dans nos industries modernes, celle du pétrole se distingue par une vitalité particulière.

Ph. Tongas.

Place (P.). — **Agenda Dunod. Chemins de fer.** — 1 *vol.* 10 × 15 *de* CXLIV-400 *p. ; Paris, Dunod,* 1939 *(Prix, relié simli-cuir ;* 25 *fr.).*

Outre la mise à jour d'un grand nombre de renseignements, cet excellent ouvrage se distingue principalement cette année par l'exposé de deux questions d'actualité; l'une, de caractère général, la réorganisation du régime des chemins de fer; l'autre, d'ordre technique, le conditionnement de l'air dans les voitures.

Ph. Tongas.

ACADÉMIES ET SOCIÉTÉS SAVANTES

DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

ACADEMIE DES SCIENCES DE PARIS

Séance du 20 *Février* 1939.

Sciences naturelles. — M. **Pierre Gavaudan,** Mme **Noélie Gavaudan** et M. **Joseph-François Durand** : *Action exercée sur la caryocinèse et la cytodiérèse par quelques hydrocarbures et leurs dérivés.* Des expériences faites sur la jeune racine de *Triticum vulgare* ont montré que le naphtalène produit un effet d'inhibition de la caryocinèse suivi de toxicité variable avec la dose. Au début on trouve un grand nombre de figures altérées à tous les stades et rappelant plus ou moins l'*effet Dustin* obtenu avec la colchicine ou l'acénaphtène. D'autre part sous l'influence du naphtalène la formation de la membrane cellulaire et la cytodiérèse s'effectuent anormalement. Dans le but de se rendre compte si ces altérations sont réellement l'ébauche de l'*effet Dustin* de l'acénaphtène ou si elles sont dues à la seule toxicité du naphtalène, les auteurs ont entrepris l'étude de l'action de diverses substances du type de l'acénaphtène et de

quelques hydrocarbures. — M. **Henri Colin** et Mlle **Marie-Madeleine Chollet** : *L'inulogenèse chez les plantes annuelles.* L'inuline est tellement répandue dans la famille des Composées qu'on regarde comme des singularités les quelques plantes qui en sont dépourvues sous notre climat. Ce sont toutes des espèces annuelles, telles que *Senecio vulgaris, Helianthus annuus, Artemisia annua*, etc. Une étude plus approfondie montre que tous les cas possibles d'inulogenèse se rencontrent en réalité dans les Composées ; il faut prendre garde d'ériger en caractère primordial ce qui n'est que simple adaptation. Les conditions de l'inulogenèse paraissent plus facilement réalisées chez les Campanulacées que chez les Composées. — MM. **André Tournade** et **Georges Chardon** : *Mécanisme de l'hypertension post-dépressive observée après insufflation temporaire des poumons.* Si après avoir insufflé les poumons et maintenu ainsi la pression artérielle au voisinage de zéro pendant une à deux minutes on permet brusquement à l'air comprimé de s'échapper on assiste à la reprise immédiate de la circulation : la pression veineuse tombe, le cœur se remet à battre à plein débit ; quant à la pression artérielle, elle s'élève rapidement au-dessus de son niveau primitif. C'est là un nouvel exemple de cette hypertension correctrice que l'on observe après toute dépression notable. Le phénomène résulte ici, comme toujours, d'une mise en œuvre simultanée des systèmes vasomoteur et chromaffine en réplique à l'anémie bulbaire. — MM. **Georges Ungar** et **Jean-Louis Parrot** : *Influence de la saignée sur le pouvoir histaminasique du plasma.* A la suite de la saignée le pouvoir histaminasique du plasma subit à peu près constamment une augmentation. Ce fait peut, dans une certaine mesure, expliquer l'action thérapeutique de la saignée. — M. **Hermann Müntz** : *Les lois fondamentales de l'hémodynamique.* — Mlle **Valérie Deutsch** : *Constante de sédimentation et poids moléculaire de la réagine syphilitique.* L'ultracentrifugation a montré que la réagine syphilitique se différencie nettement des globulines et des albumines sériques. Sa constante de sédimentation $s_0 = 36, 48.10^{-13}$ et son poids moléculaire M = 1 131 000 sont de beaucoup supérieurs aux constantes correspondantes des globulines ou des albumines. La vitesse de sédimentation des globulines et des albumines des sérums syphilitiques ne se distingue pas de celle des sérums normaux. — MM. **Serge Métalnikov**, **Alexis Yakimach** et **Oleg Yadoff** : *Action du rayonnement radioactif sur les microbes.* Des doses faibles de radon stimulent la multiplication des microbes alors que des doses fortes l'atténuent et même tuent la culture. De plus l'action de ces rayons s'exerce aussi sur la structure des microbes. En agissant avec des doses fortes de radon les auteurs ont pu même isoler, par la dissociation microbienne, plusieurs mutations stables, et en particulier quatre races nouvelles de sarcines qu'on ne trouve pas dans la nature.

Séance du 13 *Mars* 1939.

La Commission chargée de dresser une liste de candidats à la place vacante dans la Section des Membres libres présente la liste suivante. — 1° M. **J. Duclaux** ; 2° MM. **J. Béthenod**, **J. Jolly**, **P. Lévy**, **A. Pérard** et **G. Roussy**.

1° Sciences mathématiques. — **C. Benedicks** : *Représentation géométrique de la quatrième,... dimension.* — **Et. Halphen** : *Sur la covariation.* — **J. Marcinkiewicz** : *Sur la sommabilité H^k de séries de Fourier.* — **H. Tornehave** : *Généralisation de la formule de Jensen aux fonctions analytiques de plusieurs variables.* — **H. Pailloux** : *Sur la distribution dans l'espace de rotations d'une surface inextensible en mouvement.* — **G. Littaye** : *Sur les modes de résolution d'un jet liquide en gouttes.* Les irrégularités de l'orifice jouent un rôle prépondérant dans la naissance de l'oscillation transversale du jet.

2° Sciences physiques. — Mme **M.-A. Tonnelat** : *Sur les équations du photon. Rapport avec les équations de Dirac et de Kemmer.* — **J. Mariani** : *Le champ nucléaire et le quantum élémentaire de longueur.* — **A. Colombani** : *Sur l'évolution thermique de la conductibilité des couches minces de nickel.* Ces couches présentent des évolutions thermiques progressives et irréversibles jusqu'à 320°-360°, où elles changent d'attitude. — **P. de Beco** : *Vérification des lois de Faraday au pôle positif dans l'électrolyse par étincelle.* Dans l'électrolyse par étincelle, la loi de Faraday est vérifiée d'une manière très satisfaisante au pôle positif pour les sels suivants : sulfates, nitrates, phosphates, chlorures, et le produit de l'électrolyse est un acide dans le cas où ce dernier persiste en présence de H^2O^2. — **M. Dodero** : *Sur l'électrolyse de mélanges fondus de fluosilicates alcalins et de fluorures ou d'oxydes.* L'électrolyse des fluosilicates alcalins, additionnés de fluorures ou d'oxydes métalliques, permet de préparer les siliciures Si Mn^3, Si Fe^2, Si Cr^3, Si^2 Ti. La formation de ces siliciures peut s'expliquer par la combinaison du Si et du métal ayant pris naissance au voisinage de la cathode, sous l'action du métal alcalin libéré électrolytiquement. — **S. Vencov** : *Spectres d'absorption ultra-violets de quelques molécules organiques.* Etude des spectres des chlorures d'acides à l'état de vapeur. — **S. Schlivitch** : *Sur la sensibilisation des piles photovoltaïques réversibles.* Les électrodes de Cu sont sensibilisées par l'addition de matières colorantes, qui agit par oxydation du métal. — **S. Nikitine** : *Sur l'anisotropie d'absorption de différentes radiations pour les molécules de quelques colorants photosensibles.* Pour les colorants étudiés, le photodichroïsme Δ croît quand la longueur d'onde varie du bleu au rouge. — **P. Barchewitz** : *Bandes (OH_v) des acides à l'état de vapeur. Etude d'un nouvel harmonique.* L'auteur a étudié les six premiers acides gras, les acides benzoïque et *o*-chlorobenzoïque et les dérivés halogénés de l'acide acétique. Il a observé les 2e et 3e harmoniques de la bande (OH_v) vers 2 μ 79 ; le second n'avait pas encore été signalé. — **H. Muraour** et **J. Basset** : *Etude de l'influence des hautes pressions sur la propagation des réactions dans les explosifs solides et en particulier dans les explosifs d'amorçage.* En opérant sous haute pression, il a été possible d'observer pour l'azoture de plomb et pour le perchlorate du diazo de métanitraniline un régime de combustion, sans effet mécanique, inconnu jusqu'à ce jour pour ce type d'explosif. — **W. Heller** et **Et. Vassy** : *Sur la coexistence*

des agrégats réversibles et irréversibles dans les gels thixotropes à particules hydrophobes. — **P. Süe** : *Chloruration du pentoxyde et du tétroxyde de niobium.* En faisant passer Cl sur un mélange de pentoxyde et de charbon chauffé vers 700°, on obtient $NbCl^5$ pur. Cl réagit directement sur le tétroxyde dès 200° pour donner $NbCl^5$. — **J.-A. Gauthier** : *Action du brome sur quelques α-pyridones N-substituées.* Br se fixe sur ces corps non par addition, mais par substitution en 3,5. — **G. Darzens** : *Halogénométhylation de dérivés aromatiques en milieu acétique homogène.* L'acide acétique agit non seulement comme solvant, mais comme agent de condensation qui favorise la chlorométhylation, sans doute par suite de la formation d'un ester chloroacétique.

Séance du 13 Mars 1939.

Sciences naturelles (*Suite*). — **M. Pierre-P. Grassé** : *Rapports d'une larve de Coléoptère termitophile* (Troctontus appendiculatus *Silv.*) *avec ses hôtes.* La larve termitophile est nourrie à la becquée par les Termites ouvriers. Ces derniers sont par contre friands des sécrétions cutanées du *Troctontus*, et lèchent presque sans arrêt la surface du corps et les appendices latéraux exsudatoires de la larve. Gavage et léchage se pratiquent simultanément. L'attraction mutuelle que *Troctontus* et Termites éprouvent les uns pour les autres paraît être de nature olfactive et gustative. — MM. **Georges Brooks** et **Robert Paulais** : *Répartition et localisation des caroténoïdes, des flavines et de l'acide-l-ascorbique chez les mollusques lamellibranches; cas des huîtres et des gryphées vertes et blanches.* Les caroténoïdes, les flavines et l'acide-*l*-ascorbique ont une répartition différente suivant les organes et sont surtout accumulés dans la masse viscérale. — Mlle **Maryvonne Hamon** : *Caractérisation de quelques acides α-aminés entrant dans la constitution des spermatophores des Céphalopodes.* Les constituants des spermatophores des Céphalopodes sont des scléroprotéines particulières. Elles apparaissent comme des dérivés très spéciaux des mucoprotides, si abondants chez les Mollusques. — Mlle **Georgette Martret** : *Etude des variations de la concentration moléculaire de l'urine des Téléostéens Sténohalins d'eau douce en fonction des variations de salinité du milieu extérieur.* Pour de très faibles salinités la concentration moléculaire de l'urine est approximativement indépendante de celle du milieu extérieur. Pour des salinités supérieures (de — 0°,15 à — 0°90) la concentration moléculaire totale de l'urine croît proportionnellement à celle du milieu extérieur, lui demeurant toujours légèrement hypotonique. Enfin pour de très fortes salinités la concentration moléculaire totale de l'urine croît moins vite que celle du milieu, l'hypotonicité de l'urine s'accentue donc. L'élimination rénale n'arrive plus à défendre le sang contre l'envahissement du milieu extérieur; le poisson présente des signes de malaise et meurt. — Mme **Andrée Drilhon** et M. **René-Guy Busnel** : *Sur la présence et la teneur en flavine des tubes de Malpighi des insectes.* La présence, en quantité souvent considérable, de la flavine dans les tubes de Malpighi des insectes, donne à penser qu'en dehors de leur fonction classique d'excrétion, ces organes peuvent posséder un rôle d'accumulation d'un produit auquel on attribue une propriété vitaminique. — Mlle **Janine Portier** et Mme **Andrée Drilhon** : *Etude biochimique du milieu intérieur d'Eriocheir sinensis et son adaptation aux changements de salinité.* Etude du comportement des différents éléments de l'hémolymphe au cours du séjour en eau de mer et dans un bain plus concentré en sels, et ce en fonction du temps. On constate que le milieu intérieur du Crabe chinois est en parfaite isotonicité avec le milieu extérieur après un séjour de 8 jours dans l'eau de mer. Pour un bain se congelant — à 2°,96 le milieu intérieur reste légèrement hypotonique. — MM. **Henri Bulliard**, **Israël Grundland** et **André Moussa** : *Sur l'activité d'échange phosphore-radiophosphore pour les phosphatides du cytoplasme.* Les résultats morphologiques et ceux fournis par le compteur confirment l'électivité d'échange radiophosphore-phosphore vers les tissus à échanges chimiques actifs et à éléments cellulaires riches en phosphatides. — MM. **Ivan Bertrand** et **Raoul Lecoq** : *Lésions nerveuses périphériques observées au cours de la polynévrite provoquée chez le pigeon, par simple addition d'acide lactique à des régimes riches en glucides, en protides ou en lipides et comportant de fortes proportions de vitamines B.* Le déséquilibre alimentaire lactique entraîne chez le Pigeon, de même que le déséquilibre glucidique, des altérations très nettes des nerfs périphériques et, dans les deux cas, l'atteinte cylindraxile l'emporte sur l'atteinte myélinique, en opposition avec les lésions observées au cours de l'avitaminose B.

Séance du 20 Mars 1939.

M. **J. Duclaux** est élu Membre de la Section des Académiciens libres. — La Commission chargée de dresser une liste de candidats à la place vacante dans la Section des Membres libres présente la liste suivante : 1° M. **G. Roussy**, 2° MM. **J. Béthenod**, **J. Bougault**, **J. Jolly**, **P. Lévy** et **A. Pérard**.

1° Sciences mathématiques. — **A. Rosenblatt** : *Sur les problèmes du calcul des variations dans le cas des intégrales simples, dans lesquels les extrémités de la ligne d'intégration sont variables sur des courbes à points singuliers.* — **J. Favard** : *Sur la détermination des surfaces convexes.* — **E. Vessiot** : *Sur la réductibilité des systèmes automorphes dont le groupe associé est simplement transitif.* — **S. Bergmann** et **J. Marcinkiewicz** : *Sur les valeurs limites des fonctions de deux variables complexes.* — **R. Tremblot** : *L'étoile triple spectroscopique H.R. 6497.*

2° Sciences physiques. — Mlle **P. Février** : *Sur l'indiscernabilité des corpuscules.* L'indiscernabilité, c'est-à-dire le renoncement à l'individualité des corpuscules (préconisé par M. Langevin), entraîne l'indéterminisme. Ainsi l'on peut considérer l'indéterminisme, non comme une conséquence des quanta, mais comme une conséquence de l'indiscernabilité. — **G. Biben** : *Sur les caractéristiques des équations du photon.* — **A. Proca** et **S. Goudsmit** : *Sur la masse du mésoton et des autres particules élémentaires.*

Le Gérant : Gaston Doin

Sté Gle d'Imp. et Edit., 1, rue de la Bertauche, Sens. — 5-39.